

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

Optimalizace nastavení rovnaček pro odstranění  
vlnitosti za tepla válcovaného plechu

Optimization of Levellers Settings for the  
Removal of Hot-Rolled Sheet-Metal Waviness

|                |                             |
|----------------|-----------------------------|
| Student:       | Daniel Richterek            |
| Vedoucí práce: | prof. Ing. Radek Čada, CSc. |

## Zadání bakalářské práce

Student: **Daniel Richterek**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: Optimalizace nastavení rovnaček pro odstranění vlnitosti zatepla  
válcovaného plechu

### Optimization of Levellers Settings for the Removal of Hot-rolled Sheet-metal Waviness

Zásady pro vypracování:

1. Popište postup válcování pásů zatepla v podniku ArcelorMittal Ostrava, a. s. Charakterizujte vlastnosti vyrobených pásů určených pro navazující zpracování na dělicích linkách. Uveďte vady geometrie pásu vznikající během výroby.
2. Popište agregáty a provoz dělicí linky v podniku ArcelorMittal Distribution Solutions Czech Republic, s. r. o.
3. Uveďte požadavky na plechy zpracované dělicí linkou. Popište vlastnosti a geometrii dělených plechů (včetně vznikajících vad). Charakterizujte způsoby kontroly a příklady užití zpracovaných plechů.
4. Popište technologii rovnání (včetně teoretické podstaty rovnání) pásu před příčným dělením do plechů.
5. Analyzujte technologii rovnání pásu na rovnačkách dělicí linky v podniku ArcelorMittal Distribution Solutions Czech Republic, s. r. o.
6. Navrhněte nastavení rovnaček dělicí linky pro různé tloušťky a různé typy zvlnění vstupního pásu, která umožní dosáhnout příznivější geometrie plechů zpracovaných dělicí linkou.
7. Definujte limitní úroveň zvlnění, pro různé alternativy pásů vstupujících do dělicí linky, pro kterou nelze rovnáním docílit požadované geometrie plechů zpracovaných dělicí linkou.
8. Na základě výsledků analýz technologie rovnání pásu zformulujte doporučení vedoucí k racionalizaci výroby. Proveďte celkové zhodnocení navržené metodiky nastavení rovnaček dělicí linky pro různé tloušťky a různé typy zvlnění vstupního pásu, a to jak z technického, tak z ekonomického hlediska.

Seznam doporučené odborné literatury:

- ČSN 01 6910 *Úprava písemností zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 48 s.
- ČSN ISO 2145 (01 0184) *Dokumentace: Číslování oddílů a pododdílů psaných dokumentů*. Praha: Český normalizační institut, 1997. 6 s.
- ČSN ISO 7144 (01 0161) *Dokumentace: Formální úprava disertací a podobných dokumentů*. Praha: Český normalizační institut, 1997. 24 s.
- ČSN ISO 80000-1 (01 1300) *Veličiny a jednotky – Část 1: Obecně*. Praha: Český normalizační institut, 1994. 60 s.
- ČSN ISO 690 (01 0197) *Informace a dokumentace: Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2011. 40 s.
- ČSN ISO 214 (01 0148). *Dokumentace: Abstrakty pro publikace a dokumentaci*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 16 s.

ČADA, R. *Technologie I: plastická deformace kovů, objemové tváření zastudena, tažení plechu, ohýbání*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009. 85 s. ISBN 978-80-248-2108-5.

ČADA, R. *Technologie tváření, slévání a svařování: stříhání a tažení plechu, objemové tváření zastudena: (návod do cvičení)*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014. 90 s. ISBN 978-80-248-3624-9.

PETRUŽELKA, J. *Ročníkový projekt: Jak psát bakalářskou práci* [online]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, poslední aktualizace 21. 10. 2006 [cit. 2007-04-10]. Dostupný z [www: <URL: http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Jak%20psat.pdf>](http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Jak%20psat.pdf).

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 48 s.

ČSN ISO 2145 (01 0184) *Dokumentace: Číslování oddílů a pododdílů psaných dokumentů*. Praha: Český normalizační institut, 1997. 6 s.

ČSN ISO 7144 (01 0161) *Dokumentace: Formální úprava disertací a podobných dokumentů*. Praha: Český normalizační institut, 1997. 24 s.

ČSN ISO 80000-1 (01 1300) *Veličiny a jednotky – Část 1: Obecně*. Praha: Český normalizační institut, 1994. 60 s.

ČSN ISO 690 (01 0197) *Informace a dokumentace: Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2011. 40 s.

ČSN ISO 214 (01 0148). *Dokumentace: Abstrakty pro publikace a dokumentaci*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 16 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Radek Čada, CSc.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>_____<br>Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.<br>vedoucí katedry |  | <br>_____<br>doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.<br>děkan fakulty |
|---|---|---|

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21.května 2018

Handwritten signature of Daniel Kulev in blue ink, written over a dotted line.

Podpis autora práce

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů, nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB–TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB–TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB–TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Daniel Richterek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Františka Formana 278/30  
Ostrava–Dubina

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

RICHTEREK, D. *Optimalizace nastavení rovnaček pro odstranění vlnitosti zatepla válcovaného plechu: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2018, 74 s. Vedoucí práce: Čada, R.

Bakalářská práce se zabývá výrobou za tepla válcovaných ocelových pásů ve společnosti ArcelorMittal Ostrava, a. s. a jejich následným zpracováním na podélně a příčné dělicích linkách společnosti ArcelorMittal Distribution Solutions, s. r. o. V bakalářské práci je popsán postup výroby pásů ve válcovně Steckel P1500 a výrobní možnosti této tratě. Hlavními tématy jsou problematika technologie zpracování za tepla válcovaných pásů na příčně a podélně dělicí lince, pochopení principů rovnání a jejich popis, popis hlavních agregátů linek, optimalizace a sjednocení postupů nastavení rovnaček za účelem odstranění vad geometrie pásu a doporučení provozních limitů rovnaček na základě zjištěných dat.

## ANNOTATION OF BACHLEOR THESIS

RICHTEREK, D. *Optimization of Levellers Settings for the Removal of Hot-Rolled Sheet-metal Waviness: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2018, 74 p. Thesis head: Čada, R.

Bachelor thesis is focused on production of hot-rolled sheet-metal in the company ArcelorMittal Ostrava, a.s. and its following processing on slitting lines and cut to length lines of company ArcelorMittal Distribution Solutions, s.r.o. The thesis contains description of production processes in Steckel P1500 rolling mill and production options of the line. The main topics are problemacy of hot-rolled sheet-metal processing technology on cut to length line and slitting line, understanding of levelling principles and their description, description of main units of lines, levellers setting procedures optimization and unification for a purpose of removing geometry defects and levellers operating limits recommendations based on measured data.

## Obsah

|  |    |
|--|----|
| Seznam použitých zkratk a značek.....                          | 9  |
| Úvod.....  | 10 |
| 1 Představení společnosti ArcelorMittal Ostrava, a. s. ....    | 11 |
| 1.1 Hlavní závody podniku ArcelorMittal Ostrava a.s. ....      | 12 |
| 2 Válcování plechu za tepla.....                               | 15 |
| 2.1 Výroba vstupního polotovaru pro výrobu plechu (bram) ..... | 15 |
| 2.1.1 Princip plynulého odlévání .....                         | 17 |
| 3 Výroba ocelového pásu na válcovací trati Steckel P1500.....  | 18 |
| 4 Vady za tepla válcovaných pásů.....                          | 20 |
| 5 Dělicí linky .....   | 21 |
| 5.1 Příklady užití vyráběných plechů a pásů.....               | 21 |
| 5.2 Podélně dělicí linka.....                                  | 23 |
| 5.2.1 Podélně dělicí linka 1 .....                             | 23 |
| 5.2.2 Podélně dělicí linka 2.....                              | 24 |
| 5.2.3 Podélně dělicí linka 3.....                              | 24 |
| 5.3 Příčně dělicí linka.....                                   | 25 |
| 5.4 Příčně dělicí linka č.2.....                               | 26 |
| 5.5 Příčně dělicí linka č.3.....                               | 26 |
| 6 Agregáty dělicích linek.....                                 | 27 |
| 6.1 Agregáty společné pro oba typy linek.....                  | 27 |
| 6.1.1 Odvíječka .....  | 27 |
| 6.1.2 Předrovnačka.....  | 28 |
| 6.2 Agregáty podélně dělicí linky.....                         | 29 |
| 6.2.1 Dělicí stolice s kruhovými noži .....                    | 29 |
| 6.2.2 Navíječka .....  | 31 |
| 6.3 Agregáty příčně dělicí linky.....                          | 32 |
| 6.3.1 Ostříhovací kruhové nůžky.....                           | 32 |
| 6.3.2 Rovnačka.....  | 33 |
| 6.3.3 Letmé nůžky.....   | 35 |
| 6.3.4 Ukladač .....  | 36 |
| 7 Vady pásu a způsoby kontroly sledovaných parametrů .....     | 37 |
| 7.1 Tloušťka .....   | 37 |
| 7.2 Šířka .....  | 38 |
| 7.3 Délka .....  | 38 |
| 7.4 Pravoúhlost.....   | 38 |
| 7.1 Rovinnost .....  | 39 |
| 7.2 Přímost hran .....   | 39 |
| 7.3 Povrchové vady.....  | 40 |
| 7.4 Vadné hrany .....  | 41 |
| 8 Charakteristika zpracovávaného materiálu.....                | 42 |
| 8.1 Značení oceli .....  | 42 |
| 8.1.1 Značení dle ČSN EN 10027–2:2016.....                     | 43 |
| 8.1.2 Značení dle ČSN EN 10027–1:2017.....                     | 44 |
| 8.1.3 Značení dle ČSN .....                                    | 46 |
| 8.2 Mechanické vlastnosti materiálu.....                       | 47 |
| 8.2.1 Mez kluzu.....   | 47 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 8.2.2 | Mez pevnosti .....  | 47 |
| 8.2.3 | Tažnost .....   | 48 |
| 8.2.4 | Kontrakce .....   | 48 |
| 8.3   | Jakosti oceli zpracovávané příčně dělicí linkou .....             | 49 |
| 8.3.1 | S235JR .....  | 49 |
| 8.3.2 | S355JR .....  | 50 |
| 8.3.1 | S355MC .....  | 50 |
| 8.3.2 | DD11 .....  | 51 |
| 8.3.3 | C45E .....  | 52 |
| 9     | Střih materiálu .....   | 53 |
| 10    | Rovnění ocelových pásů .....                                      | 56 |
| 10.1  | Rovnění za použití válečkových rovnaček .....                     | 57 |
| 10.2  | Rovnění napínáním .....   | 59 |
| 11    | Experimentální použití dvou rovnaček současně .....               | 60 |
| 11.1  | Princip rovnání dvěma rovnačkami a postup nastavení .....         | 61 |
| 11.1  | Způsoby prováděných měření .....                                  | 65 |
| 11.2  | Limity zařízení pro rovnání a doporučené nastavení rovnaček ..... | 67 |
| 12    | Závěr .....   | 70 |
| 13    | Seznam použité literatury .....                                   | 73 |



## Seznam použitých zkratk a značek

|       |   |       |
|-------|---|-------|
| AMO   | ArcelorMittal Ostrava, a. s.                                      |       |
| AMDS  | ArcelorMittal Distribution Solutions, s. r. o.                    |       |
| ČSN   | Česká technická norma   |       |
| CEN   | Comité Européen de Normalisation,                                 |       |
| DIN   | Deutsche Industrie–Norm,  |       |
| ECS   | European Committee for Standardization,                           |       |
| EN    | Euro norm   |       |
| ÚNMZ  | Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví |       |
| ZPO   | Zařízení pro plynulé odlévání                                     |       |
| $A$   | tažnost   |       |
| $R_e$ | mez kluzu   | [MPa] |
| $R_m$ | mez pevnosti  | [MPa] |
| $Z$   | kontrakce   |       |

## Úvod

Předmětem bakalářské práce se je výroba a následné zpracování za tepla válcovaných ocelových pásů. V úvodu je popis technologie válcovací tratě Steckel P1500 a vad, které mohou při výrobě vzniknout.

Praktická část se zabývá pochopením a vysvětlením principu rovnání ocelových pásů se zvýšenou vlnitostí na příčně dělicí lince, navržení optimálního nastavení rovnaček pro snížení vlnitosti na povolenou mez popřípadě jejího úplného odstranění. Získané výsledky poslouží ke sjednocení doporučených postupů pro nastavování rovnaček a vytvoření metodiky, která bude pomáhat při zaškolování nových pracovníků na pozici operátora příčně dělicí linky.

Cílem práce je snížení objemu nejakostní výroby vznikající zvýšenou vlnitostí ocelových pásů, sjednocení postupů nastavování výrobního zařízení, určení limitů zařízení, tak aby byly využity možnosti zařízení a minimalizovala možnost přetížení a případné poškození výrobního zařízení. Vytvořená metodika by měla sloužit ke zkrácení doby pro zaškolení nových pracovníků, dále by jim měla pomáhat i při jejich další samostatné práci a bude proto určena i již zaškoleným pracovníkům.

## 1 Představení společnosti ArcelorMittal Ostrava, a. s.

ArcelorMittal Ostrava, a. s. (dále jen AMO) patří do největší světové ocelářské a těžařské skupiny ArcelorMittal. Je největší hutní společností v České republice. Roční kapacita výroby je 3 miliony tun oceli. Dodává své výrobky nejen na tuzemský trh, ale do více než 40 zemí světa. Historie společnosti začala v roce 1942. Tehdy Vítkovické železárny začaly s výstavbou svého jižního závodu v Kunčicích.<sup>1</sup>

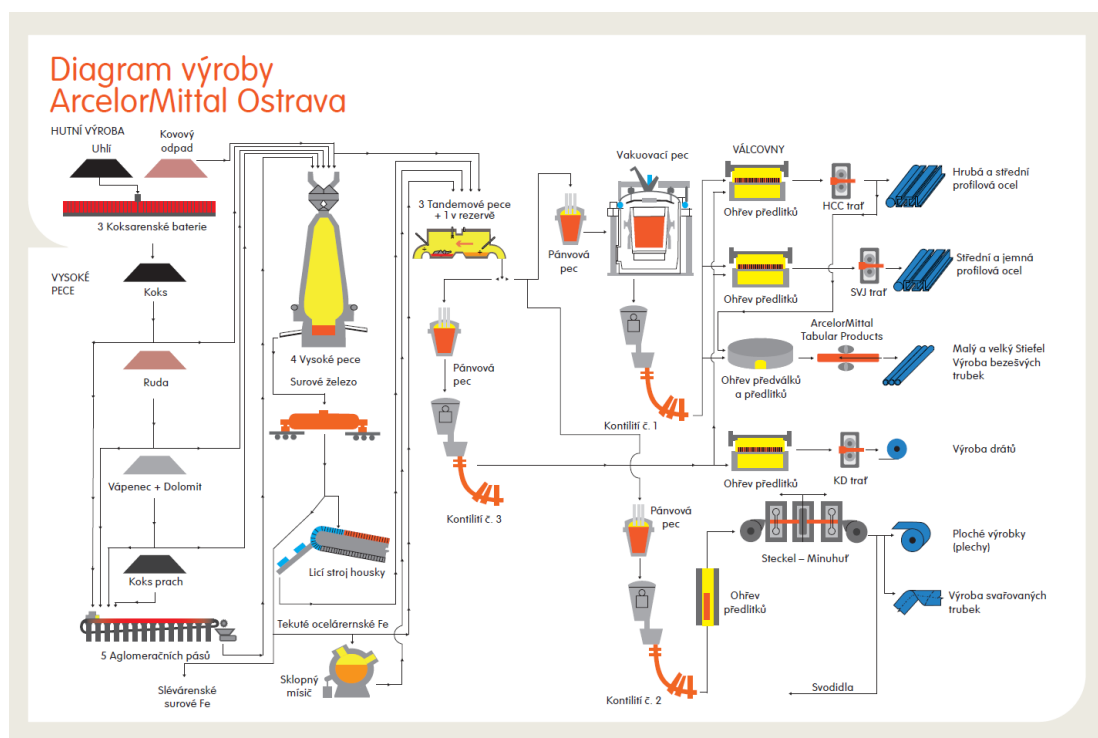
31. prosince roku 1951, byla sepsána zakládací listina Nové Huti Klementa Gottwalda (NHKG). Den na to slavnostně zapálili první vysokou pec, ze které na začátku března 1952 vyteklo poprvé surové železo. Od roku 1958 začalo rozšiřování kapacit pro výrobu koksu, dále také surového železa a v neposlední řadě oceli. To vše se stihlo v intervalu necelých tří let. V období rozšiřování jednotlivých sekcí byla vybudována i válcovací trať a linka na výrobu kol.<sup>1</sup>

1958–1961 se rozšiřovaly zejména kapacity pro produkci základních surovin jako jsou koks, surové železo a ocel. V tomto období byla také zprovozněna válcovací trať a linka na výrobu osobních, nákladních a traktorových kol. Zvýšil se počet koksárenských baterií o čtyři, přibýly dvě vysoké pece a pět sklopných pecí pro výrobu oceli. Byla postavena také nová blokovna, pásové tratě P-250 a P-800, kontidráťová trať, zařízení na výrobu trubek, kyslíkárna a jiné.<sup>1</sup>

V 70. letech probíhala modernizace Siemens-Martinských pecí na pece tandemové, které jsou v provozu dodnes. Velké investice byly spojeny s velkokapacitní koksárenskou baterií a středojemnou válcovnou. Tato válcovna má jednu z nejdelších válcovacích tratí (přibližně jeden kilometr) a v 80. letech byla co do výše investic (přes 7 miliard korun) druhým nejvýznamnějším investičním projektem v republice hned za jadernou elektrárnou Temelín.<sup>1</sup>

V roce 1993 začal postupný přechod k nové technologii plynulého odlévání oceli, tzv. kontilití, které nahradilo odlévání ingotů do kokil. V roce 1999 proběhl zkušební provoz nové válcovny P1500 na výrobu širokého za tepla válcovaného pásu, tzv. minihuti. Tato významná investice nahradila dvě původní starší pásové tratě P250 a P800. V roce 2003 byla Nová Huť privatizována a vznikl podnik ISPAT Nová Huť. O dva roky později byl název změněn na Mittal Steel Ostrava a zároveň se z některých závodů staly dceřiné společnosti. Po fúzi Arceloru a Mittalu, dvou největších ocelářských firem světa, získal v roce 2007 podnik svůj současný název ArcelorMittal Ostrava.<sup>1</sup>

## 1.1 Hlavní závody podniku ArcelorMittal Ostrava a.s.



**Obrázek 1.1 – Zjednodušený výrobní diagram ArcelorMittal Ostrava,**  
zdroj: <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6319469883583184896>

### Závod 10 – Koksovna

Koksovna AMO je největším výrobcem koksu v České republice. Dvě koksárenské baterie s pěchovaným provozem a velkoprostorová koksárenská baterie se sypaným provozem mají roční produkci cca 1,2 mil. tun koksu. V chemické části závodu jsou vyráběny chemické produkty (surový černouhelný dehet, surový koksárenský benzol, koksárenský plyn, kapalná síra).<sup>2</sup>

### Závod 12 – Vysoké pece

Závod vysoké pece disponuje čtyřmi vysokými pecemi. V současné době je pro naplnění požadavků odběratelů surového železa dostatečný provoz dvou vysokých pecí s roční kapacitou výroby přes 2 miliony tun surového železa. Převážná část produkce tekutého surového železa je spotřebovávána závodem 13 – Ocelárna, zhruba 3,5 % produkce surového železa je zpevňováno na licím stroji. Asi 0,5 % produkce je určena pro slévárnu společnosti AMEPO.<sup>2</sup>

Vysokopecní rudná vsázka je prioritně zajišťována spékáním prachových rud ve vlastním provozu 121 – Aglomerace, zbývající část vsázky tvoří pelety, kusové rudy a rovněž druhotné suroviny. Vysokopecní koks je dodáván závodem 10 – Koksovna, část

metalurgického koksu a ostatní paliva jsou nakupována z externích zdrojů. Mimo výrobu surového železa a aglomerátu, který je pouze pro vlastní spotřebu, jsou externím zákazníkům prodávány výrobky z vysokopecní strusky jako například struskové kamenivo vyráběné zejména pro stavební účely.<sup>2</sup>

### **Závod 13 – Ocelárna**

Ocelárna AMO je největším výrobcem oceli v České republice. Ocel se vyrábí kyslíkovým pochodem ve čtyřech tandemových pecích s roční produkcí přes 3 mil. tun. Po odpichu se ocel dohotovuje na cílové parametry pro lití na pánvových pecích. Dále se tekutá ocel odlévá v sekvencích na třech zařízeních ZPO do sochorů, bram či bramek.<sup>2</sup>

### **Závod 14 – Válcovny**

Válcovny AMO vyrábějí a dodávají dlouhé a ploché válcované výrobky určené pro stavby a konstrukce na tuzemském i zahraničním trhu.<sup>2</sup>

Válcovací trať HCC vyrábí střední a hrubou profilovou ocel od jednoduchých tyčí kruhových přes tvarové profily až po profily speciálních průřezů. Tato trať vyrábí také profily ocelových výztuží a plochou ocel šířky 130 až 170 mm.<sup>2</sup>

Kontidráťová trať vyrábí ocelový drát válcovaný za tepla o průměrech 5,5–14 mm.

Středojemná válcovna vyrábí široký sortiment za tepla válcovaných dlouhých výrobků. Jemnou a střední profilovou ocel základních tvarů, tyče pro výztuž do betonu v žebírkovém provedení a U profil do rozměru 120 mm a některé speciální profily.<sup>2</sup>

Pásová trať P1500 vyrábí pás z ocelí konstrukčních, konstrukčních se zvýšenou pevností, konstrukčních pro tváření i pro hluboké tváření za studena, konstrukčních uhlíkatých, konstrukčních nízkolegovaných (se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi, pro elektrotechnické účely), mikrolegovaných. V rozměrech: tloušťka od 1,5 do 15 mm, šířka od 740 do 1535 mm s hladkým povrchem, nebo s oválnými výstupky (slzičkový).<sup>2</sup>

### **TAMEH Czech, s. r. o. (TAURON ArcelorMittal Energy Holding)**

Zařízení má celkový instalovaný výkon kotelny 1 435 t/h, instalovaný výkon elektrárny činí 254 MW. Veškerá vyrobená energie spolu se stlačeným a dmýchaným vzduchem či párou, které se také vyrobí na energetice, se využije přímo v huti. V topné sezoně vyrábí energetika teplo také pro obyvatele ostravského Jižního města.<sup>2</sup>

### **ArcelorMittal Tubular Products Ostrava, a. s.**

Je největším výrobcem trubek v České republice. Nosným výrobním programem závodu jsou bezešvé trubky válcované na dvou tratích Stiefel v provedení trubek hladkých, závitových, přírubových a olejářských. Trubky na tratích St 4–10" a St 140 jsou vyráběny pouze z plynule odlévaných předlitků. Nejnáročnějším výrobkem jsou bezešvé trubky olejářské-pažnicové, čerpací, vrtné a naftovodné. Od roku 1957 je závod oprávněn označovat olejářské trubky monogramem Amerického Petrolejářského Institutu – API. Z ocelového pásu válcovaného za tepla jsou v provozu "Svařovna trub" vyráběny svařované trubky se šroubovicovým svarem jak v černém provedení, tak pro potřeby plynárenství v provedení s třívrstvou izolací PE, popř. vláknito-cementovou vnější izolací. Při kontrole jakosti se používá moderních nedestruktivních metod, které garantují požadovanou kvalitu dodávaných trubek. ArcelorMittal Ostrava, divize Tubular Products v roce 1992 úspěšně certifikovala systém jakosti podle normy ISO 9001 jako první v České republice, systém řízení ekologie podle normy ISO 14001 byl poprvé certifikován v roce 1999.<sup>2</sup>

### **ArcelorMittal Engineering Products Ostrava, s. r. o.**

Společnost má více než padesátiletou tradici a zkušenosti v oblastech strojírenské výroby, oprav elektromotorů, tepelného zpracování. Výrobní činnost společnosti je zaměřena především na výrobu strojních dílů, ocelových konstrukcí, strojních investičních celků a výrobních linek, pracovních válců, odlitků, dvojkolí a náprav. Součástí společnosti je také tepelné zpracování a opravy elektromotorů.<sup>2</sup>

### **Doprava**

Závod doprava provádí služby vnitropodnikové železniční a silniční dopravy pro jednotlivé závody AMO. Spravuje také železniční (199 km kolejí) a silniční (52,5 km silnic) síť v areálu AMO. Vnitropodnikovou železniční dopravu polotovarů zajišťuje svými lokomotivami. V roce 2017 ArcelorMittal nahradil v plné míře 28 stávajících lokomotiv ze 70. a 80. let minulého století, které v huti každý měsíc přepraví v průměru 1,7 milionu tun materiálu 20 novými lokomotivami.<sup>2</sup>

### **ArcelorMittal Distribution Solutions, s. r. o.**

Je dceřinou společností ArcelorMittal Ostrava, a. s. Vznikla v roce 2009 vyčleněním několika provozů z mateřské společnosti. V současnosti jsou její součástí hutní prodejna a dělicí linky za tepla válcovaných pásů.

## 2 Válcování plechu za tepla

### 2.1 Výroba vstupního polotovaru pro výrobu plechu (bram)

Výroba plechu probíhá na válcovacích stolicích, které jsou součástí válcovacích tratí. Vstupním polotovarem pro válcování plechu jsou bramy, které se mohou vyrábět několika různými způsoby např. válcováním ingotů odlévaných do kokil, tlakovým litím bram a dnes nejčastějším používaným způsobem, kterým je plynulým odléváním oceli tzv. kontilití. Tento způsob výroby dnes převažuje a nahradil tím ostatní způsoby výroby. Hlavními přednostmi plynulého lití polotovarů je nižší energetická náročnost což samozřejmě přináší nižší výrobní náklady, menší ekologickou zátěž a dále i lepší jakostní parametry polotovarů. Dosahuje se i vyšší výtěžnosti vyrobené oceli oproti odlévání ingotů, protože odpadá odřezávání hlav ingotů obsahujících staženinu. Díky těmto výhodám se technologie plynulého odlévání stala nejrozšířenější metodou pro výrobu polotovarů. V současné době se více než 95 % produkce oceli vyrábí plynulým odléváním a tímto způsobem je možno zpracovávat i další kovy jako např. měď, hliník a jejich slitiny.



**Obrázek 2.1 – Výroba lité bramy,**  
*zdroj: <http://www.novahut.cz/fotografie/>*



Původně se ve společnosti AMO bramy vyráběly odléváním oceli do kokil čímž vznikl ocelový ingot jehož podélné hrany byly zkoseny, aby bylo možno kokilu následně z ingotu stáhnout (tzv. stripování). Poté se ingot znovu ohříval v hlubinných pecích a na válcovacích stolicích blokovny vyválcovoval do bram potřebných rozměrů, které sloužily jako vstupní polotovary pro válcovací tratě. Tento způsob výroby je velmi energeticky náročný a méně efektivní. Proto byl postupně nahrazen zařízením pro plynulé odlévání oceli (ZPO). V současné době AMO provozuje tři zařízení pro plynulé odlévání. Metoda plynulého odlévání oceli se používá pro odlévání sochorů, nebo bram různých průřezů a rozměrů. Polotovary ve formě bram je možno použít pro válcování plechů, pásů, profilů, drátu. Sochory se používají jako vstupní polotovary pro výrobu bezešvých ocelových trubek.

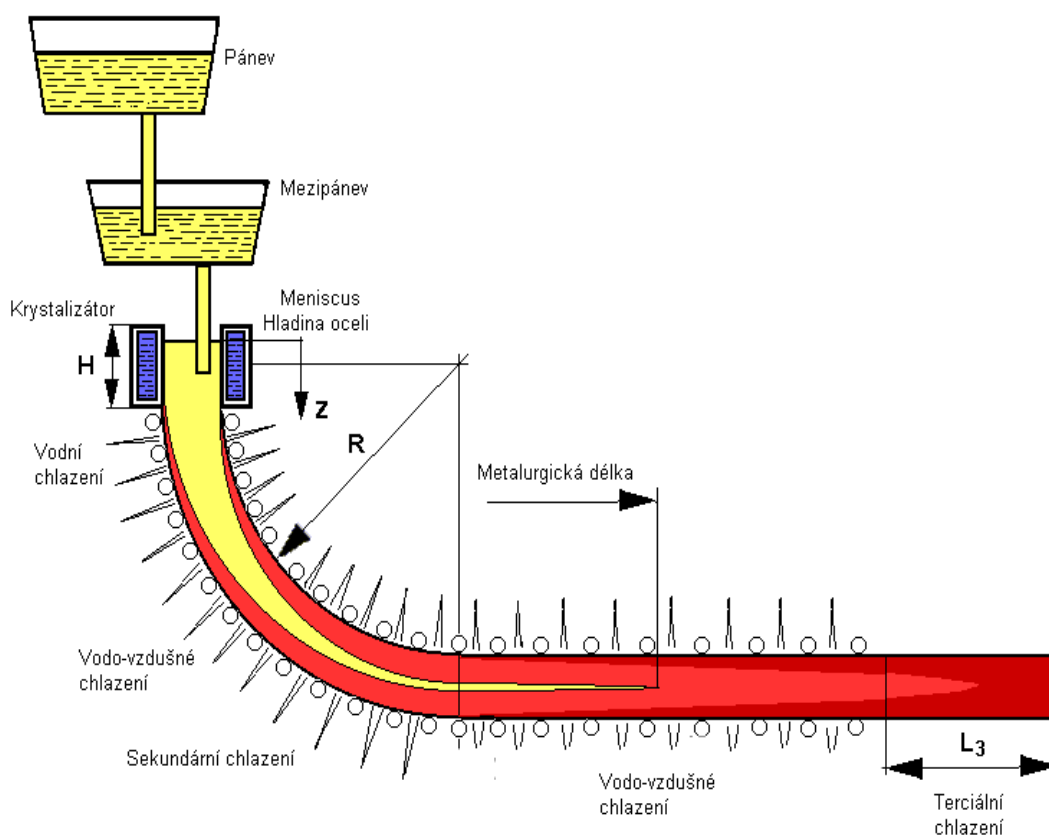


**Obrázek 2.2 – Dělení lité bramy,**  
zdroj: <http://www.novahut.cz/fotografie/>



### 2.1.1 Princip plynulé odlévání

Z ocelárny dopravená tekutá ocel v pánvi se zavěsí na otočný držák. Tekutá ocel teče z pánve do mezipánve, která slouží jako zásobník pro odlévání, aby byl zajištěn stabilní tok materiálu do krystalizátoru po celou dobu lití i během výměny pánví. Z mezipánve teče ocel do krystalizátoru, který je vyroben z mědi a jeho úkolem je z taveniny odebírat teplo. Krystalizátor je vodou chlazená měděná forma, která má tvar a velikost výsledné bramy. Ocel po obvodu v místě styku se stěnami krystalizátoru ztuhne a vytváří skořepinu v jejímž jádře je ocel stále tekutá. Skořepina musí být dostatečně tuhá, aby udržela tekutou ocel v jádru až do vstupu sekundární zóny chlazení. V zóně sekundárního chlazení je předlitek ochlazován vodou, popřípadě kombinací vody a proudu vzduchu. Předlitek je posouván válci, které také udržují jeho tvar a zabráňují vyboulení povrchu. Takto vytvořená brama, je v poslední části dělena pálicím strojem na požadované délky.



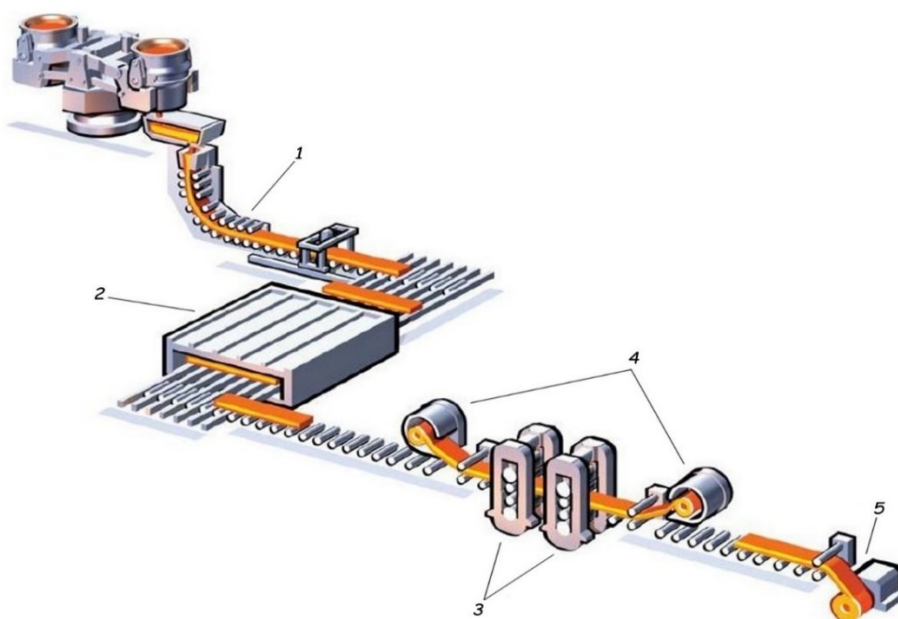
**Obrázek 2.3 – Schéma zařízení pro plynulé odlévání,**  
zdroj: <http://ottp.fme.vutbr.cz/vyzkum/kontiliti01.php>

### 3 Výroba ocelového pásu na válcovací trati Steckel P1500

Válcovací trať Steckel byla postavena jako náhrada starších pásových tratí P250 a P800. Výstavba válcovací tratě byla pilotním projektem použité technologie. Samotná válcovací trať je součástí tzv. minihutě, kdy výroba přímo navazuje na zařízení plynulého odlévání. Šlo o unikátní technologii, další taková minihuť byla pak postavena jen v Číně, kam specialisté z Nové Huti jezdili zaučovat tamní pracovníky.

Odlité bramy se za tepla vsazují (je možno vsazovat i studené bramy) do krokové pece, kde se ohřívají na válcovací teplotu. Takto ohřátá brama po výstupu z pece posouvá mezi válce vratných válcovacích kvarto stolic. Postupně prochází první a druhou stolicí, ve kterých dochází k deformaci a tím postupnému úběru tloušťky materiálu čímž také dochází k prodloužení vývalku. Poté se vývalek vrací přes stolice zpět, čímž dochází k dalším úběrům a vývalek vyjíždí znovu na dopravníky před stolicemi. Tento postup je opakován, dokud není dosaženo cílové tloušťky pásu. Po několika úběrech je délka vývalku větší než délka dopravníku, proto je na dopravník sklopen kyvný stůl, který nasměruje vývalek do pecní navíječky, kde je navíjen na trn navíječky a přitom je ohříván na válcovací teplotu. Trať Steckel má dvě pecní navíječky, ve kterých je materiál během válcování mezi průchody stolicemi navíjen. Díky průběžnému ohřevu během jednotlivých průchodů je rozdíl teplot mezi začátkem a koncem pásu při válcování menší než při válcování na spojitých tratích. Po posledním průchodu mezi válci stolic, kdy je dosaženo požadované tloušťky jede hotový pás po válečkovém dopravníku, kde je ochlazován vodním laminárním chlazením na navíjecí teplotu a poté vyjíždí do koncové navíječky a zde je navíjen na trn do svitku. Takto vyrobený svitek je stažen z trnu, svázan po obvodě ocelovou páskou, zvážen a označen. Dále je umístěn do venkovního skladu odkud je následně expedován do skladů dělicích linek případně externím odběratelům.

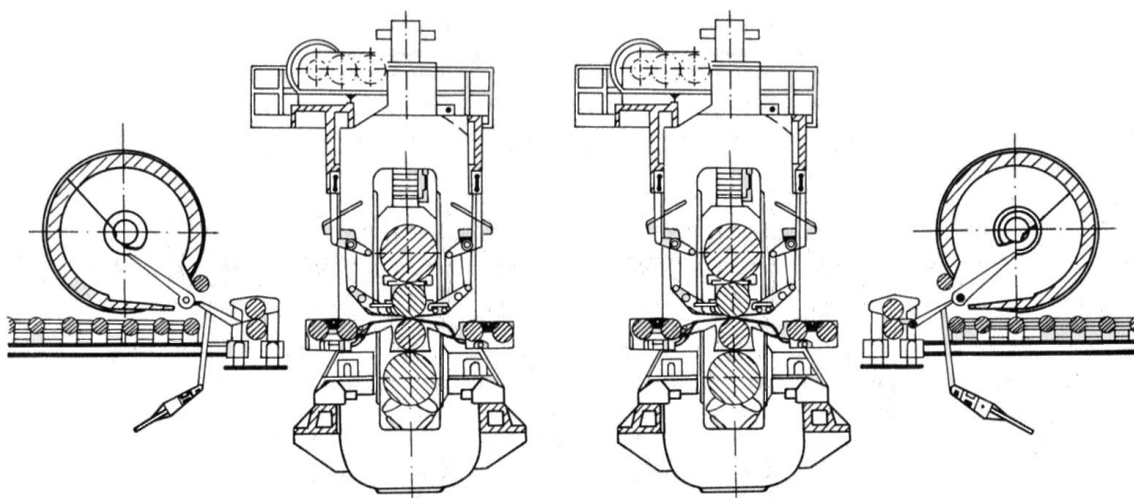
Pokud se vyrábí plech, který není hladký, ale má na povrchu reliéf v provedení s oválnými výstupky (slzičkový plech) tak pro postupné úběry se používá pouze první stolice. Ve druhé stolici je umístěn válec s vyfrézovanými drážkami, který se použije při posledním průchodu čímž se na povrchu plechu vytvoří patřičný reliéf.



**Obrázek 3.1 – Schéma toku materiálu válcovací tratě typu Steckel se dvěma vratnými kvarto stolicemi,**  
**(1 – ZPO, 2 – kroková pec, 3 – vratné kvarto stolicce, 4 – pecní navíječky, 5 – koncová navíječka),**  
*zdroj: [http://www.sms-siemag.com/download/W4\\_309\\_E\\_Steckel\\_Mills\\_save.pdf](http://www.sms-siemag.com/download/W4_309_E_Steckel_Mills_save.pdf)*

#### Výrobní parametry tratě Steckel P1500

|                           |              |
|---------------------------|--------------|
| Maximální hmotnost svitku | 33 t         |
| Vnitřní průměr            | 762 mm       |
| Maximální vnější průměr   | 1 920 mm     |
| Šíře válcovaného pásu     | 700–1 550 mm |
| Tloušťka                  | 1,5–15 mm    |



**Obrázek 3.2 – Schéma válcovací tratě typu Steckel (upraveno)<sup>8</sup>**

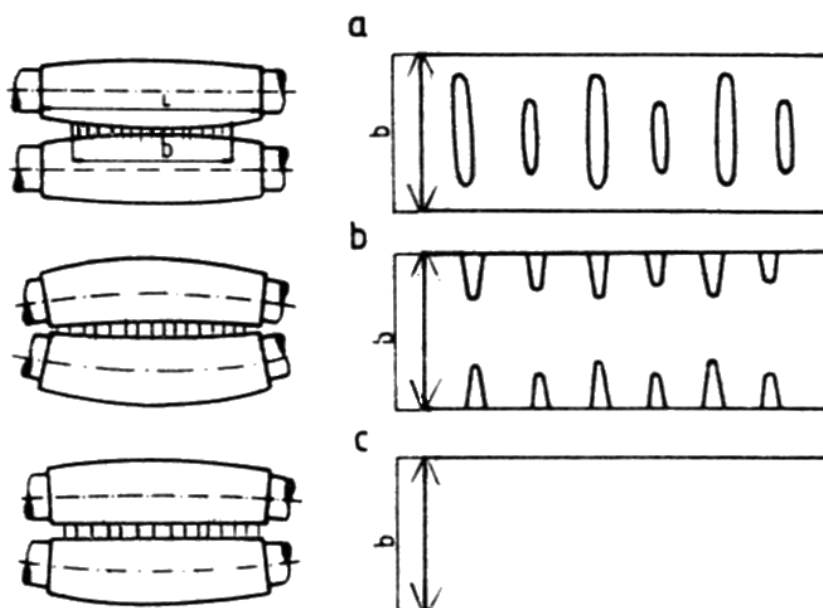
## 4 Vady za tepla válcovaných pásů

### Vady geometrie pásu

Příčný profil pásu a rovinnost se vzájemně ovlivňují z čehož vyplývá, že změnou příčného profilu dochází k ovlivnění rovinnosti. Příčný profil a tím i rovinnost ovlivňuje při válcování pružná deformace válců, jejich opotřebení, teplota, vypuklost a také profil materiálu vstupujícího do válcovací mezery válců. Rozdílné tloušťkové deformace na příčném profilu mohou způsobovat podélné zvlnění pásů.

Pokud má válcovací mezera klínovitý tvar může to způsobovat jednostrannou vlnitost, která zapříčiňuje tzv. šavovitost pásu což znamená odchylku od přímosti. Největší problému vznikají u pásů jejichž poměr šířky ke tloušťce je větší než 1:300 což je v případě pásu šířky 1500 mm tloušťka 5 mm a méně.

V současné době je zjišťování dalších příčin vlnitosti a způsobu jejich odstranění součástí výzkumného úkolu oddělení výzkumu AMO.



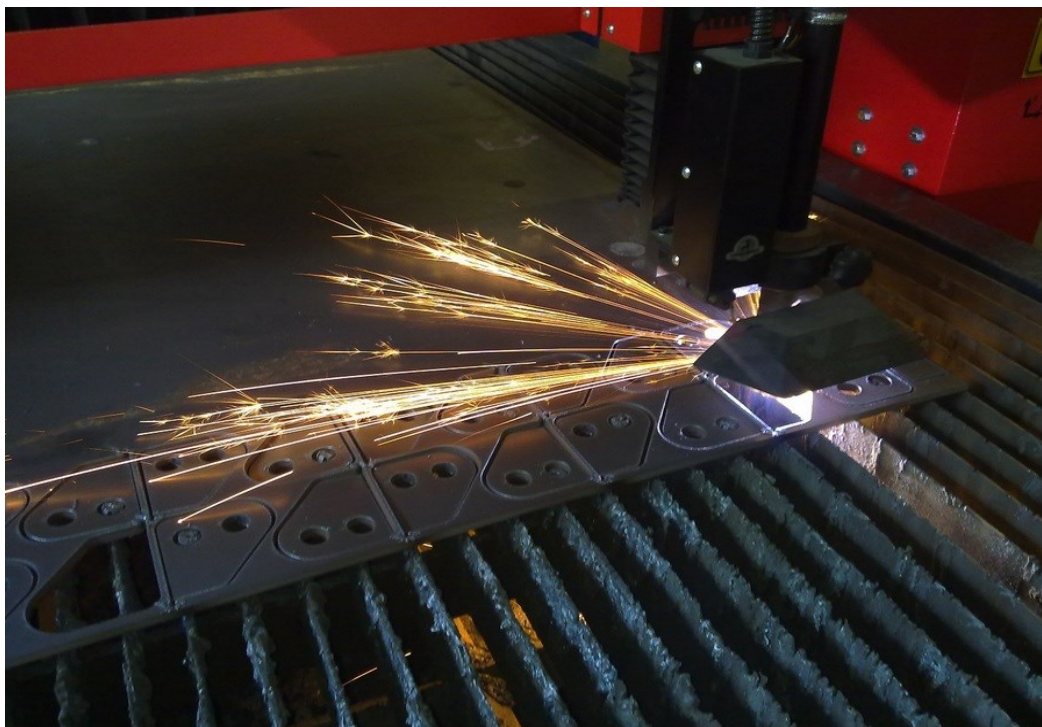
Obrázek 4.1 – Vliv válcovací mezery na rovinnost válcovaného pásu,  
(a – pás se středovou vlnitostí, b – pás s okrajovou vlnitostí, c – dokonale rovný pás<sup>8</sup>)

## 5 Dělicí linky

Dělicí linky jsou určeny ke zpracovávání ocelového plechu navinutého ve svitcích. Trend výroby za tepla válcovaných plechů dlouhodobě směřuje k výrobě pásů větších šířek a následnému dělení na pásy a plechy podle požadavku zákazníka, který nemá k dispozici zařízení ke zpracovávání pásů ve vyválcovaných šířkách. I ve společnosti AMO byly na konci devadesátých let nahrazeny starší válcovací tratě P250 a P800 novou širokopásovou Steckelovou válcovnou P1500.

### 5.1 Příklady užití vyráběných plechů a pásů

Tabule plechu vyrobených na příčně dělicích linkách nemají ve většině případů předem daný konkrétní účel použití a jsou určeny především k výrobě součástí strojů, konstrukcí. Nejčastěji se používají pro řezání dílu za použití různých metod např. řezání kyslíkem, plazmou, laserem. Plechy se dodávají ve standardních rozměrech 1000 mm × 2000 mm, 1250 mm × 2500 mm, 1500 mm × 3000 mm. Mimo tyto standardní rozměry si může pro zákazník objednat jakékoliv rozměry tabulí v rámci technických možností výrobního zařízení pro konkrétní použití např. skružování při výrobě ocelových nádrží, tlakových nádob. Tabule slizčového plechu se pak mohou používat k výrobě schodů, podlah, krycích plechů, plošin, tak aby byla zajištěna ochrana proti uklouznutí.



**Obrázek 5.1 – Řezání dílů z plechu plazmou,**  
*zdroj: <https://www.rykov.cz/tvarove-paleni-plechu-cnc-plazmou>*

V případě podélně dělicích linek je tato situace opačná a většina vyrobených pásů je určena pro konkrétní použití. Z tohoto důvodu se materiál dělí na zákazníkem předem určené rozměry. Dělené pásy používají pro výrobu různých typů profilů, podélně svařovaných trubek, spirálovitě svařovaných trubek, ocelových disků pro automobily. Mezi nejznámější výrobky patří ocelová silniční svodidla včetně sloupků na kterých jsou uchycena, která se vyrábějí v AMO.



**Obrázek 5.2 – Silniční ocelová svodidla,**

*zdroj: <http://www.motorkari.cz/clanky/moto-novinky/bezpecnejsi-svodidla-konecne-take-u-nas-27032.html>*



## 5.2 Podélně dělicí linka

Slouží k podélnému dělení širokého ocelového pásu navinutého ve svitcích. Pás se podélně dělí pomocí kruhových nůžek na pásy požadovaných šířek a pak se znovu navijí do svitků.

Na provozu dělicí linky společnosti AMDS jsou tři podélně dělicí linky. Každá z linek vyrábí jiný rozměrový sortiment čímž se vzájemně doplňují a díky tomu je možné zákazníkům nabídnout široký rozsah rozměrů.



Obrázek 5.3 – Dělené pásy navinuté ve svitcích

### 5.2.1 Podélně dělicí linka 1

Linka byla vyrobena firmou SIEMAG a modernizaci provedla firma ŽDAS. Původně byla určena pro zpracování svitků z válcovací tratě P800. S plánovaným ukončením provozu tratě byla provedena modernizace firmou ŽDAS. Při modernizaci byla nahrazena vstupní část linky včetně odvíječky a navíječka s odbavovacím úsekem tak, aby bylo možno zpracovávat i svitky s větším průměrem a hmotností z válcovací tratě Steckel P1500. Po této modernizaci může linka zpracovávat pás až do šíře 1 000 mm. Z původního zařízení firmy SIEMAG zůstaly klíčové agregáty jako je rovnačka, příčné nůžky pro stříh konců, kotoučové nůžky a šrotovací nůžky. Modernizací prošly i řídicí

systémy, původní řídicí prvky byly nahrazeny moderním řídicím systémem SIMATIC od firmy Siemens.

Parametry linky:

|                                     |                 |
|-------------------------------------|-----------------|
| Maximální hmotnost vstupního svitku | 22 t            |
| Maximální průměr svitků             | 1 900 mm        |
| Minimální šíře pásu                 | 200 mm          |
| Maximální šíře pásu                 | 1 000 mm        |
| Tloušťka                            | 1,5–6 mm        |
| Vnitřní průměr                      | 600 nebo 762 mm |
| Šíře dělených pásů                  | 90–1000 mm      |
| Maximální rychlost linky            | 2 m/s           |
| Vnitřní průměr dělenců              | 600 nebo 762 mm |

### 5.2.2 Podélně dělicí linka 2

Linka byla vyrobena a dodána firmou ŽĐAS v roce 1998. Navazovala na projekt minihutě s ohledem na maximální využití rozměrových a výkonnostních kapacit válcovací tratě P1500.

Parametry linky:

|                                     |                 |
|-------------------------------------|-----------------|
| Maximální hmotnost vstupního svitku | 32 t            |
| Maximální průměr svitků             | 1 900 mm        |
| Minimální šíře pásu                 | 400 mm          |
| Maximální šíře pásu                 | 1 540 mm        |
| Tloušťka                            | 1,5–8 mm        |
| Vnitřní průměr                      | 600 nebo 762 mm |
| Šíře dělených pásů                  | 120–1 500 mm    |
| Maximální rychlost linky            | 3,5 m/s         |
| Vnitřní průměr dělenců              | 600 nebo 762 mm |

### 5.2.3 Podélně dělicí linka 3

Výrobce linky je firma Ruthner. Linka původně sloužila ke zpracování svitků z válcovací tratě P250, na které byl po zprovoznění válcovací tratě P1500 ukončen provoz a P1500 se tak stala jedinou válcovací trati pro výrobu plechu v AMO. Jelikož válcovací trať P1500 není schopná vyrábět svitky v rozměrech (šířka, vnitřní průměr) vhodných pro linku Ruthner, tak je nutné svitky nejdříve dělit na podélně dělicí lince 1 nebo 2, na které široký vstupní svitek s vnitřním průměrem 762 mm podélně rozdělí na úzké pásy a ty se navinou do svitků s vnitřním průměrem 600 mm a tím umožní další zpracování na lince Ruthner.



Parametry linky:

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| Maximální hmotnost vstupního svitku | 3 t       |
| Maximální průměr svitků             | 1 390 mm  |
| Minimální šíře pásu                 | 150 mm    |
| Maximální šíře pásu                 | 300 mm    |
| Tloušťka                            | 1,5–6 mm  |
| Vnitřní průměr                      | 600 mm    |
| Šíře dělených pásů                  | 20–450 mm |
| Vnitřní průměr dělenců              | 600 mm    |

### 5.3 Příčně dělicí linka

Je určena pro rovnání a příčné dělení ocelových pásů a může být i kombinovaná se zařízením pro boční ostřih hran.

Vstupním materiálem je ocelový pás navinutý ve svitcích. Výsledným výrobkem jsou tabule plechy o přesných rozměrech ve svazcích. Svazky plechů jsou svázány ocelovou páskou. Společnost AMDS provozuje dvě příčně dělicí linky. Linky se svými výrobními parametry doplňují a tím je umožněno nabízet zákazníkům širokou škálu rozměrů plechů.



Obrázek 5.4 – Svazky plechů vyrobené příčně dělicí linkou

## 5.4 Příčně dělicí linka č.2

Jejím výrobcem je italská společnost FIMI. Součástí linky je stolice pro ostříh okrajů a dvě rovnačky. Díky dvěma rovnačkám dokáže linka zpracovávat sortiment ve velkém rozsahu tloušťek. První 11válečková rovnačka s průměrem pracovních válců 130 mm je vhodná pro rovnání pásů od 5 mm do 13 mm. Druhá rovnačka má 17 pracovních válců průměru 63 mm a je určená pro tloušťky pásu od 1,5 mm do 4 mm.

Parametry linky:

|                                     |             |
|-------------------------------------|-------------|
| Maximální hmotnost vstupního svitku | 34 t        |
| Maximální průměr svitků             | 2 000 mm    |
| Minimální šíře pásu                 | 600 mm      |
| Maximální šíře pásu                 | 1 600 mm    |
| Tloušťka                            | 1,5–12,7 mm |
| Vnitřní průměr svitku               | 762 mm      |
| Délka plechu                        | 1–12 m      |
| Maximální hmotnost balíku:          | 5 t         |

## 5.5 Příčně dělicí linka č.3

Vyrobená italskou firmou Novastilmec. Je vybavena jednou 15válečkovou rovnačkou. Používá se především pro zpracovávání materiálu tloušťky od 6 mm do 15 mm a do maximální šíře 2 050 mm.

Parametry linky:

|                                     |          |
|-------------------------------------|----------|
| Maximální hmotnost vstupního svitku | 32 t     |
| Maximální průměr svitků             | 2 200 mm |
| Minimální šíře pásu                 | 600 mm   |
| Maximální šíře pásu                 | 2 050 mm |
| Tloušťka                            | 4–15 mm  |
| Vnitřní průměr svitku               | 762 mm   |
| Délka střiženého plechu             | 0,7–12 m |
| Maximální hmotnost balíku:          | 5 t      |

## 6 Agregáty dělicích linek

Hlavními agregáty, kterými postupně prochází zpracováváný materiál jsou:

Příčně dělicí linka

*Odvíječka → Předrovnačka → Stolice s kruhovými noži → Rovnačka → Letmé nůžky → Ukladač → Vazač*

Podélně dělicí linka

*Odvíječka → Předrovnačka → Stolice s kruhovými noži → Navíječka*

### 6.1 Agregáty společné pro oba typy linek

Podélně a příčně dělicí linky zpracovávají stejný vstupní materiál z tohoto důvodu jejich vstupní část je principiálně stejná.

#### 6.1.1 Odvíječka

Hlavní funkcí je odvíjení pásu ze svitku. Dále slouží k napnutí pásu při chodu linku a současně udržuje pás v podélné ose linky. Trn odvíječky tvoří po obvodu několik segmentů, pod kterými se hydraulicky posouvají klíny čímž dochází ke zvětšení průměru trnu a tím dojde k uchycení svitku.

Svítek se pomocí vozíku zvedne ze zavážecí rampy a nasadí na trn odvíječky. Otáčením trnu se svítkem se pomocí přitlačných válců a pohyblivého stolu posune začátek pásu mezi tažné válce. Dále už posun pásu zajišťují tažné válce a odvíječka zajišťuje napnutí pásu pomocí tahu, který je vyvozován elektromotorem pohonu odvíječky a působí proti směru odvíjení. Tah odvíječky zabraňuje nekontrolovatelnému rozvinutí svitků. Nedostatečné napnutí pásu může zapříčinit posun středu pásu mimo podélnou osu linky. Závity svitku mohou být vůči sobě posunuty a tím se v průběhu odvíjení střed pásu dostává mimo podélnou osu linky, proto je odvíječka vybavena středícím zařízením, které sleduje hrany pásu a při zjištění odchylky posouvá odvíječku se svítkem tak, aby byl střed pásu neustále v ose linky.

### 6.1.2 Předrovnačka

Následuje za odvíječkou a slouží prvotnímu vyrovnání pásu, který je po navinutí za tepla prohnutý a musí být vyrovnán do té míry, aby se mohl po válečkových dopravnících posouvat k dalšímu agregátu linky. Předrovnačka musí mít minimálně 4 pracovní válce, aby bylo možné pás vyrovnat za každých okolností. Při třech pracovních válcích je možné plech ohnout pouze jedním směrem čehož využívají skružovačky. U předrovnačky nemusí být vždy poháněny všechny pracovní válce. Pracovní válce jsou stavitelné proto není možné pevné spojení s výstupními hřídelemi převodovky a přenos krouticího momentu je zajišťován kardanovými hřídeli.



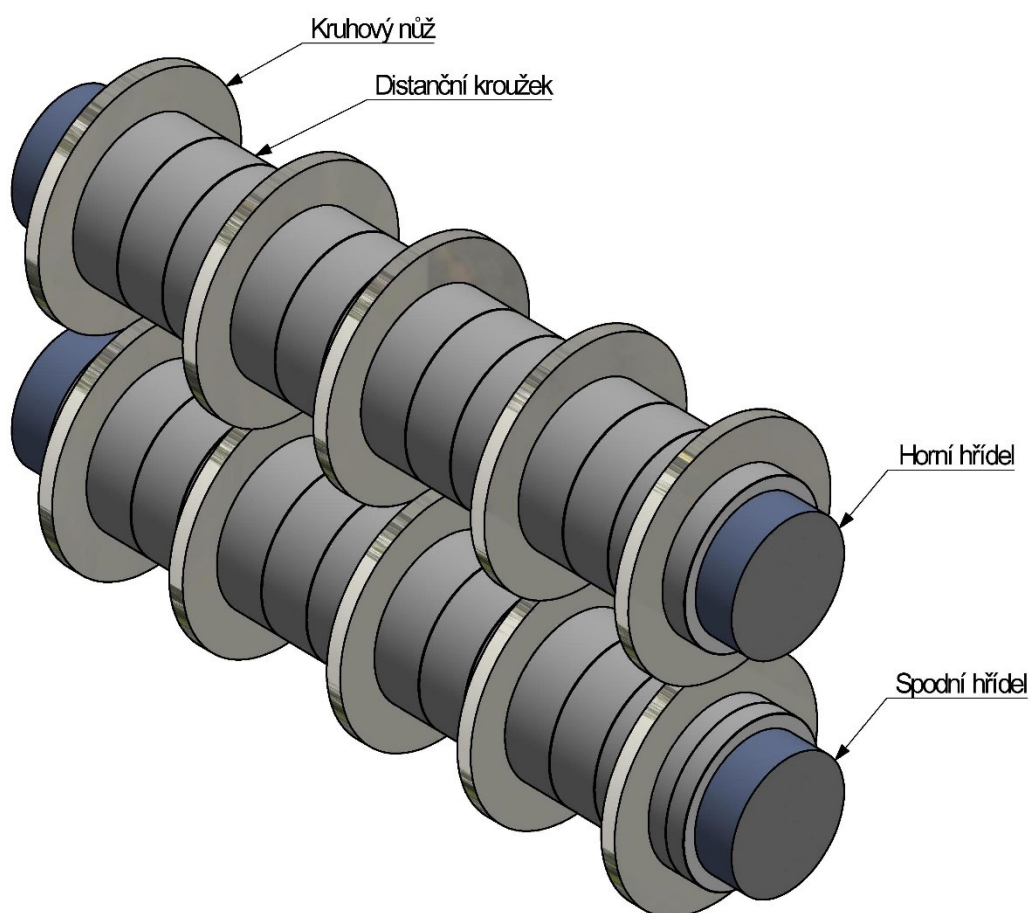
Obrázek 6.1 – Odvíječka s bubnovým trnem a předrovnačka



## 6.2 Agregáty podélně dělicí linky

### 6.2.1 Dělicí stolice s kruhovými noži

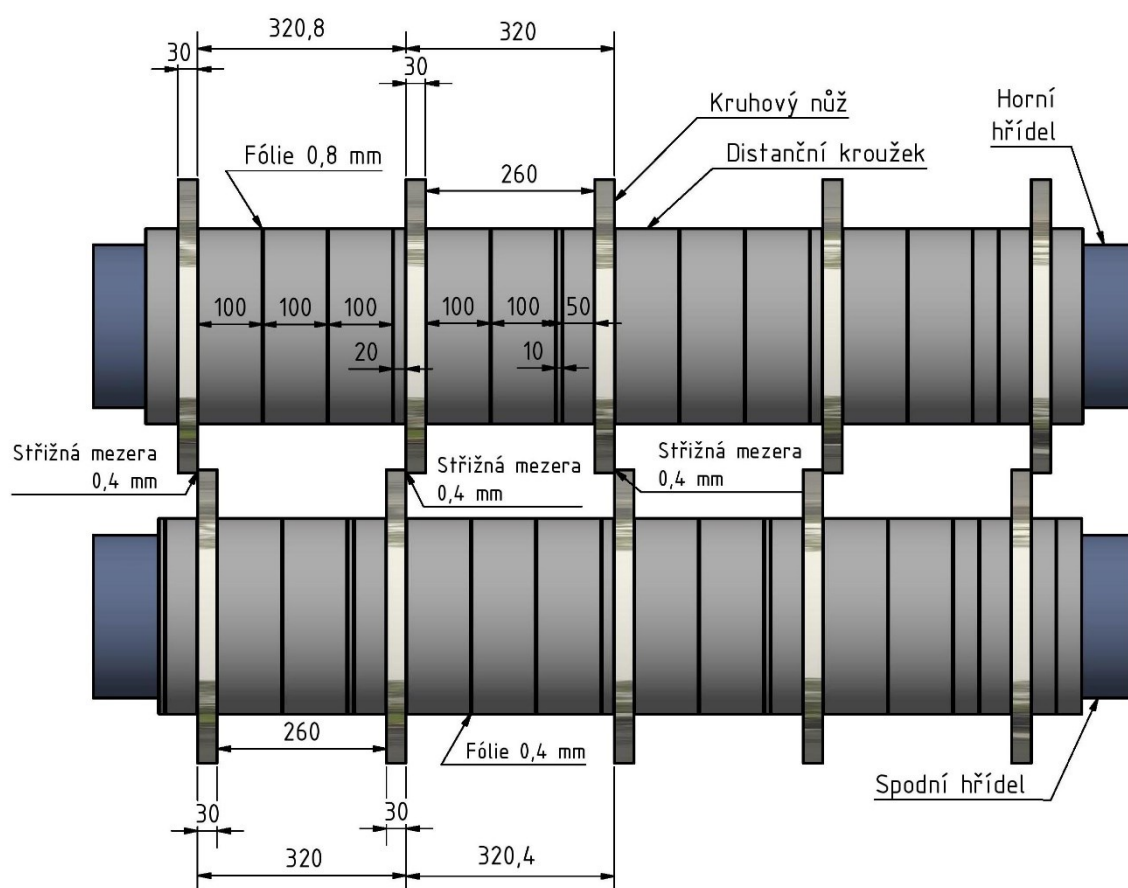
Je klíčovým agregátem podélně dělicí linky. Slouží k ostříhu okrajů a podélné dělení širokého vstupního pásu na několik užších pásů. Nože jsou umístěny na dvou hřídelích vždy v páru tak že každý nůž je na jedné z hřídelí. Počet prováděných stříhů je vždy je o jeden větší než počet vyrobených pásů z důvodu ostříhu okrajů. Okraje pásu jsou krajními noži ostříženy a takto vzniklý odpad může být navíjen do cívek nebo je odváděn do šrotovacích nůzek, které tento odpad stříhají na krátké kusy.



Obrázek 6.2 – Stolice s kruhovými noži pro 4 pásy (5 stříhů)

Vzdálenost mezi jednotlivými kruhovými noži a tím i šířka dělených pásů je zajištěna distančními kroužky. Velikost vůlí se nastavuje vkládáním fólií mezi distanční kroužky (viz obrázek 6.3). Velikost střížné mezery se nedá jednoduše měnit, ale je možná pouze výměnou fólie za fólii jiné tloušťky. Velikost zapuštění nožů se provádí vertikálním posunem horní hřídele. Takto je změněno přesazení nožů u všech stříhů.

Pokud je linka vybavena více stolicemi provádí se výměna nožů a jejich seřízení mimo linku na speciálním stanovišti k tomu určeném a v případě změny rozměru nebo otupení nožů se mění celá stolička.

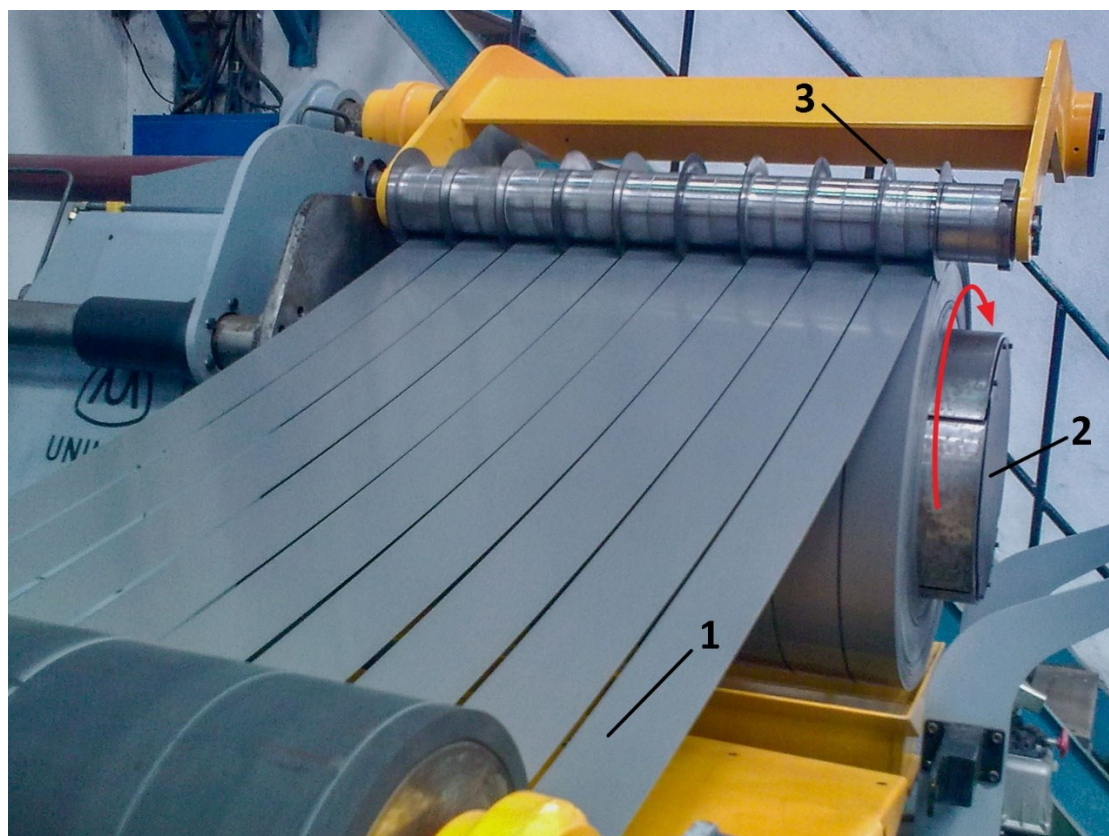


**Obrázek 6.3 – Příklad nastavování střížné mezery a stavění kruhových nožů pomocí distančních kroužků**

### 6.2.2 Navíječka

Slouží k navinutí dělených pásů do svitků. Trn navíječky může měnit svůj průměr pomocí hydraulicky ovládaných klínů, které jsou umístěny pod jednotlivými segmenty. Před navíjeným svitkem je umístěn separátor, který odděluje jednotlivé pásy čímž zabráňuje jejich překřížení při navíjení.

V jednom ze segmentů je umístěna svěrná štěrbina, do které se zasouvají jednotlivé pásy, které poté jsou hydraulicky uchyceny a současně dochází rozevření trnu na maximální průměr, který je shodný s vnitřním průměrem výsledného svitku. Po navinutí svitků se trn navíječky sevře zpět na minimální průměr a díky mezeře, která tak vznikne mezi svitky a trnem je možno svitky vysunout mimo trn.



**Obrázek 6.4 – Navíječka a separátor**  
(1 – střížený pás, 2 – trn navíječky, 3 – separační kroužek),  
zdroj: <http://www.unimak.net/en/product/slitting-line/>

## 6.3 Agregáty příčně dělicí linky

### 6.3.1 Ostříhovací kruhové nůžky

Slouží k ostřížení hran pásu, který je dodáván s přírodní válcovanou hranou. Ostřížení je provedeno dvěma jednotkami kruhových nůžek. Vzdálenost hran nožů pravé a levé jednotky určuje konečnou šířku plechu. Každý ze čtyř kruhových nožů je nasazen samostatné hřídeli. Střížná mezeru a přesazení nožů (viz 9) se nastavují v závislosti na tloušťce materiálu a jeho mechanických vlastnostech a je možné je nastavit pro každou jednotku zvlášť tak, že se vzájemně neovlivňují. Střížná mezera se nastavuje axiálním posuvem spodní hřídele a přesazení nožů radiálním posuvem horní hřídele.



Obrázek 6.5 – Pohled na materiál v ořezávací (ostříhovací) stoličce s dvojicí kruhových nůžek



### 6.3.2 Rovnačka

Její funkcí není pouze narovnání prohnutí pásů plechů, které vzniká navíjením za tepla do svitku, ale také odstranění vlnitosti pásu a jeho finální co nejpresnější vyrovnání. V porovnání s předrovnačkou je to zařízení zcela jiných parametrů a slouží k jinému účelu. Často však bývá předrovnačka nazývána obecně rovnačkou obzvláště u podélně dělicích linek, kde je jediným takovýmto zařízením. V angličtině je rozlišení těchto dvou zařízení výraznější a lépe vystihuje jejich účel.

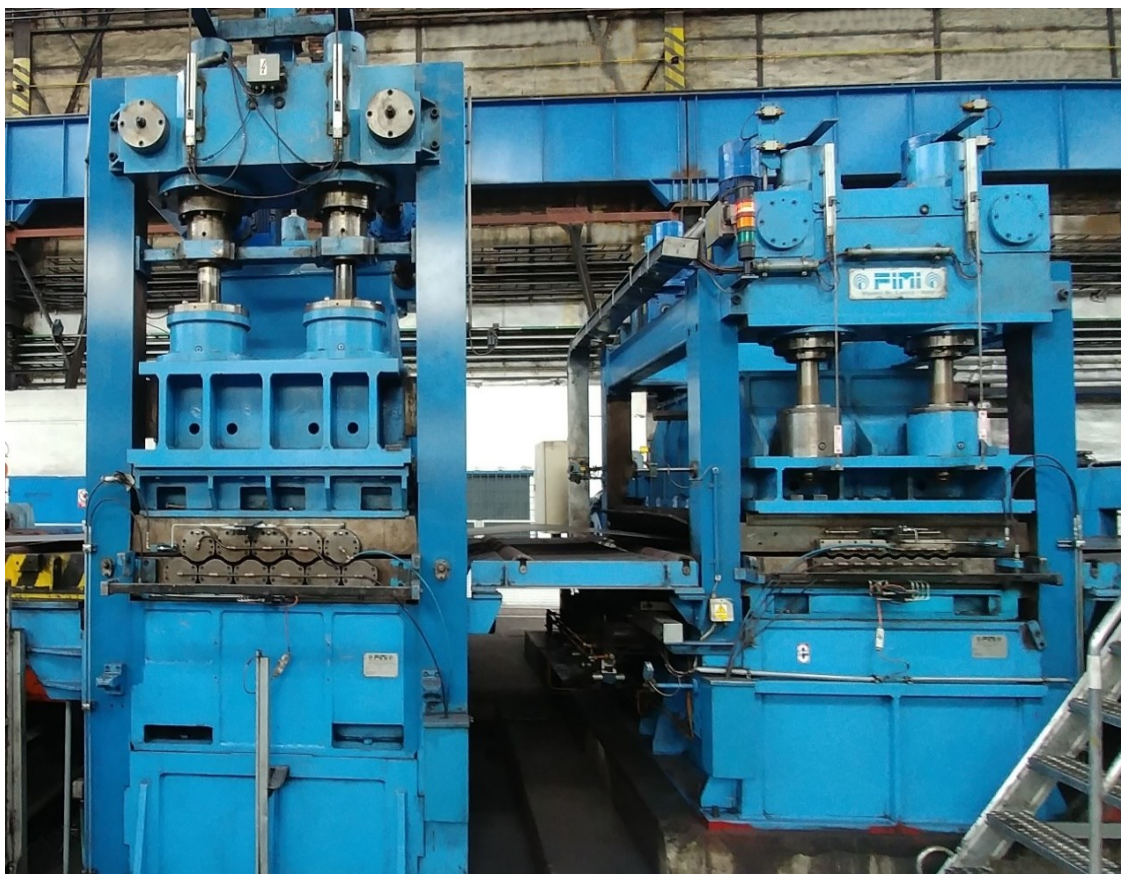
*Straighten* – napřímení  $\Rightarrow$  *straightener* – předrovnačka.

*Levelling* – vyrovnání  $\Rightarrow$  *leveller* – rovnačka.

Rovnačku tvoří dvě sady pracovních válců (spodní a horní), které jsou usazeny v rámech (kazetách) což zaručuje, že válce v jednotlivých kazetách mají vůči sobě přesnou a neměnnou polohu. Aby se zabránilo nežádoucímu průhybu pracovních válců způsobenému tlakem rovnaného materiálu jsou válce podepřeny sadami opěrných válců, které jsou rovnoměrně usazeny po celé délce pracovních válců, čímž zabráňují nežádoucímu průhybu. U moderních rovnaček je možnost za chodu nastavovat polohu opěrných válců spodní kazety a tím přesně řídit průhyb pracovních válců čímž se ovlivňuje způsob rovnání napříč rovnaným pásem a tak je možno použít pro každou část šířky pásu jiné parametry a tím kompenzovat rozdílné parametry pásu.

Spodní kazeta s pracovními válci je v rámu rovnačky usazena pevně a horní je pohyblivá. Je umožněno přesně řízenými pohyby ovládat zvlášť vstupní i výstupní část čímž se docílí naklopení horní kazety v podélném směru pásu, často bývá umožněno naklápění kazety také napříč pásem a to především u rovnaček určených pro tenké plechy.

Všechny pracovní válce jsou poháněny, proto má převodovka stejný počet výstupních hřídelí jako je počet pracovních válců. Spojení mezi hřídelemi převodovky a pracovními válci je zajištěno pomocí tyčí, které mají na svých koncích zakulacené plochy s drážkováním, kterými jsou zasunuty do drážkových nábojů na hřídelích převodovky a pracovních válců. Kulové plochy na koncích tyčí umožňují spojení a otáčené hřídelí převodovky a pracovních válců i přesto, že nejsou souosé a také často mění válce svou z důvodů zvedání a naklápění v různých směrech.



**Obrázek 6.6 – 11 a 17válečková rovnačka**

System pracovních válců v kazetách umožňuje relativně snadné a rychlé vytažení a zasunutí válců do rámu rovnačky což výrobci využívají ke konstrukci rovnaček v kterých je možno používat kazety s různými počty pracovních válců a různými průměry. Pro tenčí plechy se používají válce menších průměrů se zvětšující se tloušťkou se zvětšuje i vhodný průměr válců. Příčně dělicí linky jsou často vybaveny dvěma rovnačkami, jednou s válci větších průměrů určenou na hrubé a druhou s malými průměry válců na tenké plechy. Rovnačka, která se na rovnání zrovna nepoužívá tak má zvednuté horní válce tak, že zpracovávaný materiál prochází mezerou mezi spodními a horními válci a po spodních válcích se pouze odvaluje. Všechny válce jsou i v tomto případě poháněny a jejich obvodová rychlost je stejná jako rychlost projíždějícího pásu, aby se zabránilo jejich poškození otěrem.

**Tabulka 6.1 – Doporučené průměry pracovních válců pro různé tloušťky materiálu,**  
*zdroj: <https://camu.it/en/levelling/>*

| Průměr pracovních válců<br>[mm] | Minimální tloušťka<br>materiálu [mm] | Maximální tloušťka<br>materiálu [mm] |
|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 25                              | 0,3                                  | 1,2                                  |
| 36                              | 0,4                                  | 1,8                                  |
| 42                              | 0,5                                  | 2,7                                  |
| 48                              | 0,7                                  | 3,2                                  |
| 50                              | 0,8                                  | 3,8                                  |
| 65                              | 1,0                                  | 5,0                                  |
| 85                              | 1,7                                  | 8,0                                  |
| 115                             | 2,3                                  | 10,0                                 |
| 140                             | 3,0                                  | 16,0                                 |
| 170                             | 3,8                                  | 20,0                                 |
| 230                             | 4,8                                  | 25,0                                 |

### 6.3.3 Letmé nůžky

Provádějí stříh již srovnaného pásu na zadanou délku v mezích předepsaných úchylek. Stříh je prováděn za pohybu pásu tzv. letmý stříh. Jsou to tabulové nůžky jejichž celá konstrukce se pohybuje lineárními ložisky po prizmatické kolejnici čímž je zajištěn lehký a přesný posuv. Pohyb beranu nože bývá nejčastěji realizován pomocí klikového mechanismu, setrvačníku a pneumaticky ovládané lamelové spojky. Díky tomu, že setrvačník má dostatek kinetické energie je akcelpace beranu a tím i samotný stříh velice rychlý což je při letmém stříhu klíčové. Rychlost beranu je důležitá i při stříhu materiálu blížícího se k maximálním limitům daným výrobcem, protože pokud by beran s nožem nedosáhl dostatečné rychlosti neměl by dostatek kinetické energie potřebné k přestřižení materiálu. Letmé nůžky mohou mít i hydraulický pohon beranu v takovém případě je v krátkém časovém rozmezí zapotřebí velký průtok oleje bez výrazného snížení tlaku proto, aby nemusela být hydraulická stanice zbytečně naddimenzovaná tak jsou do okruhu zařazeny hydraulické akumulátory, které dokáží krátkodobě vyrovnat tyto zvýšené nároky.

Rychlost pásu je měření pomocí měřicího kolečka, které je přitlačováno na povrch pásu a jeho otáčky jsou měřeny přesným inkrementálním snímačem, který posílá informace řídicímu systému. Ve chvíli kdy řídicí systém vyhodnotí, že od posledního stříhu urazil pás vzdálenost nastavenou pro délku výsledného plechu rozjedou se letmé nůžky ve směru pohybu materiálu a za jízdy provedou stříh. Ve chvíli kdy beran nůžek

po střihu dojde do horní úvratě se nůžky okamžitě vrátí zpět do základní pozice, kde vyčkávají na další střih.

Výkoností nůžek je ovlivněna rychlost celé linky. Po každém střihu se musí letmé nůžky vrátit do základní pozice. Nejvyšší rychlosti proto dosahuje linka při střihání dlouhých plechů. Nejkratší plechy se stříhají nejnižší rychlostí.

#### 6.3.4 Ukladač

Slouží k ukládání jednotlivých tabulí plechu na sebe do svazku, tak aby nedocházelo ke skluzu jednotlivých tabulí po sobě a to i v případě plechů dlouhých až 12 m. Po střihu letnými nůžkami odjíždějí tabule po plochých pásových dopravnících, které mají vyšší rychlost než je rychlost linky čímž se tvoří mezi jednotlivými tabule dostatečné mezery. Jednotlivé tabule postupně najíždějí na ramena ukladače, které mohou být osazeny řadami kuličkových kladek, nebo válečky. Po njetí celé tabule plechu dojde k rozevření ramen a tabule dopadá na předchozí plech v balíku. Po dopadu je každá tabule plechu v podélném i příčném směru zatlačena tak, aby žádná z tabulí nepřesahovala přes hrany svazku což zabraňuje poškození (ohnutí) jednotlivých tabulí při manipulaci se svazkem a to především u tenkých plechů, usnadňuje balení a snižuje riziko poranění o vyčnívající hranu.

## 7 Vady pásu a způsoby kontroly sledovaných parametrů

Úchyly rozměrů širokých pásů a plechů stříhaných z širokého pásu se řídí ČSN EN 10051, nebo dle požadavků zákazníka uvedených v kupní smlouvě. Šířka a tloušťka je určena přímo při válcování za tepla. Šířku pásů a plechů s ostříženou hranou ovlivňuje nastavení agregátů dělicích linek, stejně jako délku jednotlivých tabulí plechu.

### 7.1 Tloušťka

Měří se v libovolném bodě ve vzdálenosti větší než 40 mm od hrany výrobku s přírodními hranami a nejméně 25 mm od hrany pásu se stříhanými hranami.

Vypuklost je určena jako rozdíl mezi tloušťkou na podélné ose pásu a místem vzdáleným 40 mm od kterékoliv hrany pásu s přírodními hranami a nejméně 25 mm od hrany pásu se stříhanými hranami.

Nestejnomořnost tloušťky v jednom svitku se měří na přímce, která má stálou vzdálenost od podélné hrany pásu.

**Tabulka 7.1 – Mezní úchyly tloušťky plechu a pásů z oceli se stanovenou minimální mezí kluzu  $R_e \leq 300$  MPa (třída A) dle ČSN EN 10051**

| Jmenovitá tloušťka<br>$t$ [mm] | Mezní úchyly při jmenovité šířce $w$ [mm] |                          |                          |              |
|--------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|--------------|
|                                | $w \leq 1\,220$                           | $1\,220 < w \leq 1\,500$ | $1\,500 < w \leq 1\,800$ | $w > 1\,800$ |
| $t \leq 2,00$                  | $\pm 0,17$                                | $\pm 0,19$               | $\pm 0,21$               | –            |
| $2,00 < t \leq 2,50$           | $\pm 0,18$                                | $\pm 0,21$               | $\pm 0,23$               | $\pm 0,25$   |
| $2,50 < t \leq 3,00$           | $\pm 0,20$                                | $\pm 0,22$               | $\pm 0,24$               | $\pm 0,26$   |
| $3,00 < t \leq 4,00$           | $\pm 0,22$                                | $\pm 0,24$               | $\pm 0,26$               | $\pm 0,27$   |
| $4,00 < t \leq 5,00$           | $\pm 0,24$                                | $\pm 0,26$               | $\pm 0,28$               | $\pm 0,29$   |
| $5,00 < t \leq 6,00$           | $\pm 0,26$                                | $\pm 0,28$               | $\pm 0,30$               | $\pm 0,31$   |
| $6,00 < t \leq 8,00$           | $\pm 0,29$                                | $\pm 0,30$               | $\pm 0,31$               | $\pm 0,35$   |
| $8,00 < t \leq 10,00$          | $\pm 0,32$                                | $\pm 0,33$               | $\pm 0,34$               | $\pm 0,40$   |
| $10,00 < t \leq 12,50$         | $\pm 0,35$                                | $\pm 0,36$               | $\pm 0,37$               | $\pm 0,43$   |
| $12,50 < t \leq 15,00$         | $\pm 0,37$                                | $\pm 0,38$               | $\pm 0,40$               | $\pm 0,46$   |
| $15,00 < t \leq 25,00$         | $\pm 0,40$                                | $\pm 0,42$               | $\pm 0,45$               | $\pm 0,50$   |

## 7.2 Šířka

Šířka a délka tabule plechu se kontroluje měřidlem s přesností  $\pm 1$  mm. Šířka musí být měřena kolmo k podélné ose plechu

**Tabulka 7.2 – Mezní úchytky šířky tabulí plechu dle ČSN EN 10051**

| Jmenovitá šířka<br>$w$   | Mezní úchytky [mm] |       |                |       |
|--------------------------|--------------------|-------|----------------|-------|
|                          | Přírodní hrany     |       | Stříhané hrany |       |
|                          | Dolní              | Horní | Dolní          | Horní |
| $w \leq 1\,200$          | 0                  | +20   | 0              | +3    |
| $1\,200 < w \leq 1\,850$ | 0                  | +20   | 0              | +5    |
| $w > 1\,850$             | 0                  | +25   | 0              | +6    |

## 7.3 Délka

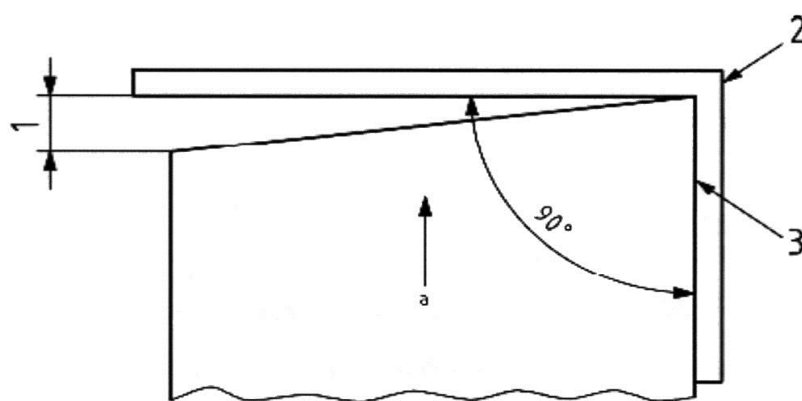
Délkou plechu se rozumí ta délka která je kratší při měření obou podélných stran.

**Tabulka 7.3 – Mezní úchytky délky tabulí plechu dle ČSN EN 10051**

| Jmenovitá délka $l$         | Mezní úchytky [mm] |                   |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|
|                             | Dolní              | Horní             |
| $l < 2\,000$                | 0                  | +10               |
| $2\,000 \leq l \leq 8\,000$ | 0                  | $+0,005 \times l$ |
| $l \geq 8\,000$             | 0                  | +40               |

## 7.4 Pravoúhlost

Úchylka pravoúhlosti  $u$  je pro plech kolmý průmět příčné hrany na podélnou hranu nesmí překročit 1,0 % skutečné šířky plechu.



**Obrázek 7.1 – Způsob měření pravoúhlosti plechů,  
(1 – úchylka pravoúhlosti, 2 – úhelník, 3 – podélná hrana, a – směr válcování)**

## 7.1 Rovinnost

Úchylka rovinnosti se stanoví měřením vzdálenosti mezi výrobkem a rovnou vodorovnou plochou, na které výrobek leží.

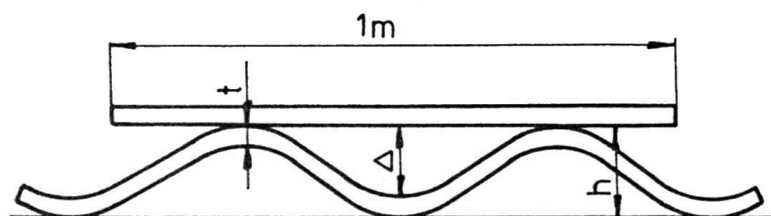
**Tabulka 7.4 – Úchylky rovinnosti pro oceli se stanovenou minimální mezí kluzu  $R_e \leq 300$  MPa**

| Jmenovitá tloušťka $t$ | Jmenovitá šířka $w$      | Úchylky rovinnosti | Zúžené úchylky rovinnosti |
|------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------|
| $t \leq 2$             | $w \leq 1\,200$          | 18                 | 9                         |
|                        | $1\,200 < w \leq 1\,500$ | 20                 | 10                        |
|                        | $w > 1\,500$             | 25                 | 13                        |
| $2 < t \leq 25$        | $w \leq 1\,200$          | 15                 | 8                         |
|                        | $1\,200 < w \leq 1\,500$ | 18                 | 9                         |
|                        | $w > 1\,500$             | 23                 | 12                        |

**Tabulka 7.5 – Úchylky rovinnosti pro oceli se stanovenou minimální mezí kluzu  $300 < R_e \leq 420$  MPa**

| Jmenovitá tloušťka $t$ | Jmenovitá šířka $w$      | Úchylky rovinnosti       |                          |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                        |                          | $300 < R_e \leq 360$ MPa | $360 < R_e \leq 420$ MPa |
| $t \leq 25$            | $w \leq 1\,200$          | 18                       | 23                       |
|                        | $1\,200 < w \leq 1\,500$ | 23                       | 30                       |
|                        | $w > 1\,500$             | 28                       | 38                       |

Pro oceli se stanovenou minimální mezí kluzu  $420 < R_e \leq 900$  MPa musí být úchylky rovinnosti dohodnuty při objednání.



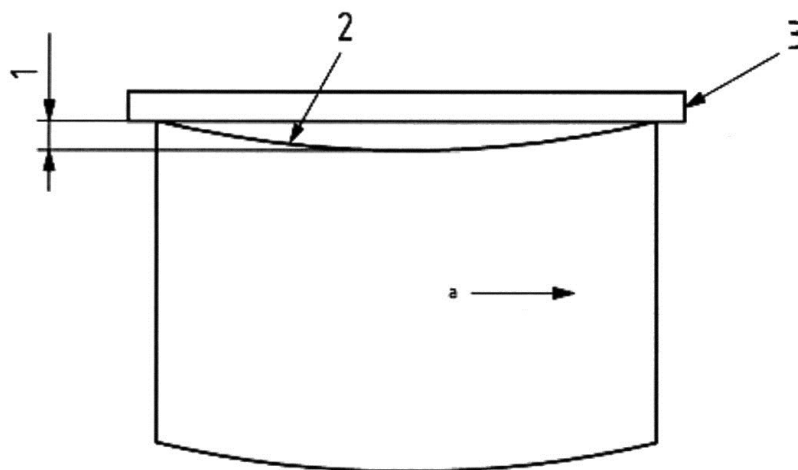
**Obrázek 7.2 – Způsob měření rovinnosti**

## 7.2 Přímost hran

Úchylka přímosti hran je největší úchylka mezi podélnou hranou a přímkou procházející oběma konci měřené délky. Přímost se měří na vyduuté straně.

U plechů délky  $l < 5\,000$  mm je měřenou délkou délka výrobku a nesmí překročit 0,5 % skutečné délky plechu.

U pásů a plechů se jmenovitou délkou  $l \geq 5\,000$  mm je měřená délka 5 000 mm na libovolném místě hrany výrobku. U plechů se jmenovitou délkou  $l \geq 5\,000$  mm a šířkou  $w \geq 600$  mm nesmí úchylka přímosti hran překročit 20 mm kdekoli na měřené délce 5 000 mm u plechů s přírodními hranami a 15 mm u plechů s ostřiženými hranami.



**Obrázek 7.3 – Způsob měření přímosti pásu,**  
(1 – úchylka přímosti hrany, 2 – podélná hrana (vydutá strana), 3 – pravítko, a – směr válcování)

### 7.3 Povrchové vady

Kontrola povrchu se provádí vizuálně. Plechy nesmí mít na povrchu šupiny, puchýře, pleny, trhliny nebo škrábance, které nepříznivě ovlivňují jejich použití. Nejčastějšími vadami jsou otlaky, vyvýšeniny, rýhy, zaválcované okraje.

- a) Otlaky – jsou to důlky různých tvarů, velikostí a hloubek. Pokud je vada na pásu pravidelně se opakující tak mohla vzniknout při válcování i při zpracování na dělicích linkách cizím předmětem nalepeným na pracovních válcích popř. na některém z přítlačných válečků, který je vtlačován do pásu. Změřením vzdálenosti mezi opakujícími se vadami je možno zjistit průměr válce, který tyto vady způsobil.
- b) Vyvýšeniny – výstupky různých velikostí a tvarů vystupující nad plochu povrchu materiálu. Nejčastější příčinou je prohlubeň v pracovním válci válcovací stolice, která se při válcování obtiskuje do povrchu materiálu.
- c) Rýhy – jsou to vrypy v materiálu zpravidla v podélném směru. Nejčastější příčinou jsou poškozené nebo uvolněné části výrobního zařízení, které za chodu mechanicky poškozují pás. Vada může vznikat při výrobě na válcovací trati nebo také při zpracování na dělicí lince. Rýhy vzniklé při zpracování na dělicích linkách mají kovově lesklý povrch. Pokud rýha vznikla již při válcování tak její povrch je matný díky zoxidované vrstvě.



- d) Zaválcované okuje – tato vada vzniká nedostatečným odstraněním okují při válcování. Okuje jsou při válcování vtlačeny do povrchu materiálu. Na dělicích linkách se tato vada zřetelně projeví při průchodu materiálu rovnačkou, kdy při ohybu dojde k rozrušení vrstvy a jejich částečnému odstranění. Po odstraněných okujích zůstávají v povrchu materiálu prohlubně.

Pokud se povrchová vada opakuje je vždy zapotřebí zjistit zdroj této vady. Při kontrole na dělicí lince je zapotřebí zjistit, zda se daná vada vyskytuje již na vstupním materiálu nebo vzniká až v průběhu zpracování. Vady povrchu se nejvíce projeví po moření. Mořením se odstraňuje vrstva oxidu železa (okuje) z povrchu materiálu. Nejčastěji se moření provádí v kyselině chlorovodíkové (HCl) a v menší míře v kyselině sírové (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

## 7.4 Vadné hrany

Tyto vady se mohou vyskytovat u vstupních svitků s přírodní hranou, dělených svitků a také u jednotlivých střižených plechů.

Vadami vzniklými při válcování mohou být například spálené hrany nebo trhliny. Mezi nejčastější vady patří poškození hran při manipulaci s materiálem. Při manipulaci s materiálem může vznikat mechanické poškození hran od manipulační techniky jako jsou vrypy do hran přes několik závitů u svitků a v případě balíků mohou být tyto vrypy do hran často přes několik plechů. V případě vysunutého závitu ze svitku (teleskopičnost) nebo vysunutého plechu z balíku může dojít k ohnutí hrany případně až roztržení hrany.

U materiálu s ostřiženými hranami se sleduje kvalita stříhu, která závisí na opotřebení střižných hran nožů, nastavení střižné mezery, popřípadě přesazení hran nožů u kruhových nůžek. Střižená hrana musí mít minimální otřep, v místě odtržení musí být plocha čistá bez výrazných výstupků, zatrženin, nejsou přípustné dvojité stříhy.

## 8 Charakteristika zpracovávaného materiálu

Pro správné nastavení výrobního zařízení je zapotřebí znát jeho vlastnosti, které jsou určeny jakostí materiálu, proto je nutné znát také způsoby značení oceli. V některých případech je možno zjistit některé vlastnosti materiálu přímo z označení konkrétní oceli.

### 8.1 Značení oceli

Pro zajištění jednotnosti značení se v zemích evropského hospodářského prostoru používá značení podle evropských norem. Schvalování má na starosti evropský výbor pro normalizaci (francouzsky CEN – Comité Européen de Normalisation, anglicky ECS – European Committee for Standardization). Členskými státy CEN je všech 28 států Evropské unie, Island, Norsko a Švýcarsko. Originály norem jsou ve francouzském, německém a anglickém jazyce.

Evropské normy jsou přebírány do norem národních.

Národní orgány pro normalizaci řídí standardizaci na úrovni státu a zabezpečují zavedení všech evropských norem do národní soustavy a také zrušení národních norem, které jsou v rozporu s normami evropskými. V České republice toto zajišťuje Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ). U přijatých norem se před označení EN vkládá označení národní normy např.

ČSN EN (Česká technická norma) – Česká republika,

STN EN (Slovenská technická norma) – Slovensko,

DIN EN (Deutsche Industrie–Norm) – Německo,

NF EN (Norme française) – Francie,

PN EN (Polska norma) – Polsko,

ÖNORM EN (Österreichische Normen) – Rakousko,

BS EN (British Standard) – Velká Británie,

SS EN (Swedish Standards) – Švédsko.

Pro převod mezi národním značením oceli a značením podle evropských jsou k dispozici převodní tabulky, ale ve většině případů se jedná o ekvivalenty ocelí a jejich chemické složení a vlastnosti nemusí být vždy identické. Je nutné si vždy ověřit chemické složení a vlastnosti pro jednotlivé oceli ověřit podle jejich použití. Některé oceli registrované v evropských normách vůbec nemají ekvivalenty v normách národních a to platí také naopak.

### 8.1.1 Značení dle ČSN EN 10027–2:2016

Označení materiálovým číslem

Převzato z německé normy DIN a často jej lze najít pod označením W.Nr. z německého Werkstoffnummer  $\Rightarrow$  číslo materiálu. Materiálová čísla oceli přiděluje Evropský registrační úřad.

1.0038(xx)

**První číslice** – označuje skupinu materiálu (0–ocel, 1–litina).

**Druhá a třetí číslice** – skupinu ocelí.

Příklady:

00 – oceli obvyklých jakostí,

01 – konstrukční oceli pro běžné použití  $R_m < 500$  MPa,

02 – konstrukční oceli určené pro tepelné zpracování  $R_m > 500$  MPa,

08 – oceli se zvláštními fyzikálními vlastnostmi,

09 – oceli pro různé oblasti použití,

35 – oceli na valivá ložiska,

40 – nerezavějící oceli,

43 – nerezavějící oceli,

44 – nerezavějící oceli,

89 – vysoce pevné, svařitelné oceli.

**Pátá a šestá číslice** – pořadové číslo

Číslice v závorce jsou určeny pro budoucí použití.

## 8.1.2 Značení dle ČSN EN 10027–1:2017

Skupina 1 – Označení podle použití a podle mechanických nebo fyzikálních vlastností

### S235JR+AR

Základní symboly

První písmeno:

S – oceli pro ocelové konstrukce,

P – oceli pro tlakové nádoby,

L – oceli na potrubí,

E – oceli na strojní součásti,

B – oceli pro výztuž do betonu,

D – ploché výrobky pro tažení za studena,

H – ploché výrobky válcované za studena z ocelí k tažení s vyšší pevností,

R – oceli na kolejnice, následující číslo odpovídá minimální pevnosti v tahu,

T – tenké pocínované plechy a pásy, pochromované plechy a pásy,

M – plechy a pásy pro elektrotechniku,

G – oceli na odlitky.

Po písmenu (S, P, L a E) následuje číslo udávající minimální mez kluzu pro nejmenší tloušťku výrobku.

**Tabulka 8.1 – Výběr přídatných symbolů značení oceli**

| skupina 1                |     |     |                  | skupina 2   |  |
|--------------------------|-----|-----|------------------|---|--|
| nárazová práce v joulech |     |     | teplota<br>ve °C | M – termomechanicky<br>válcováno<br>N – normalizačně žiháno nebo<br>válcováno<br>AR – za tepla válcovaná, bez<br>zvláštních požadavků (as<br>rolled)<br>Q – zušlechťená | C – se zvláštní tvářitelností<br>za studena<br>D – pro žárové pokovování<br>E – pro smaltování<br>F – pro kování<br>H – duté profily<br>L – pro nízké teploty<br>P – štetovnice<br>S – pro stavbu plavidel,<br>T – trubky<br>W – odolné proti atmosférické<br>korozi |
| 27J                      | 40J | 60J |                  |   |  |
| JR                       | KR  | LR  | +20              |   |  |
| J0                       | K0  | L0  | 0                |   |  |
| J2                       | K2  | L2  | -20              |   |  |
| J3                       | K3  | L3  | -30              |   |  |
| J4                       | K4  | L4  | -40              |   |  |
| J5                       | K5  | L5  | -50              |   |  |
| J6                       | K6  | L6  | -60              |   |  |

Skupina 2 – Označování oceli podle chemického složení

a) Nelegované oceli s obsahem manganu pod 1 %.

**C45E**

Písmeno C + číslo odpovídající 100násobku středního obsahu uhlíku v %.

Přídavné symboly:

E – maximální obsah síry,

R – předepsaný rozsah obsahu síry,

C – pro tváření za studena,

S – na pružiny,

U – na nástroje,

W – na svařovací dráty,

D – pro tažení drátů.

b) Rychlořezné oceli

Značka obsahuje označení rychlořezné oceli HS (High Speed) a čísla udávající obsahy legujících kovů v % v pořadí: W, Mo, V, Co. Například

**HS6–5–2–5**

je rychlořezná ocel s obsahem 6 % wolframu, 5 % molybdenu, 2 % vanadu a 5 % kobaltu.

c) Legované oceli s obsahem Mn mezi 1 % a 5 %, nelegované

Korozivzdorné oceli a ostatní legované oceli (kromě rychlořezných) s obsahem minimálně jednoho legujícího prvku  $\geq 5$  %.

- Značka má na počátku charakteristické písmeno X,
- číslo za písmenem X značí stonásobek středního obsahu uhlíku v %,
- následují chemické značky legujících prvků, které charakterizují ocel,
- čísla na konci značky udávají těchto legujících prvků v %.

**X10CrNi18–8**

Je legovaná ocel s obsahem 0,1 % C, 18 % Cr a 8 % Ni

Pro výrobky z oceli mohou být použity i další přídavné symboly zapisující se znaménkem +, které mohou udávat způsob povrchové úpravy, zvláštní požadavky na mechanické vlastnosti oceli nebo stavu tepelného zpracování např. Přídavné symboly jsou rozděleny do dvou skupin. Jestliže symboly skupiny 1 nestačí pro úplné popsání oceli připojují se symboly ze skupiny 2.

Příklady symbolů:

- +AZ – povlak slitinou Al a Zn,
- +CU – povlak mědi,
- +Z – žárové pozinkování,
- +ZM – žárové pokovování slitinou zinku a hořčíku,
- +H – dobře prokalitelná ocel,
- +Z15 – minimální zúžení průměru při tahové zkoušce,
- +C – zpevněno za studena,
- +A – žíháno na měkko.

### 8.1.3 Značení dle ČSN

Značení oceli v Československu a poté v České republice vycházelo z normy ČSN 42 0002. Dnes se již od tohoto značení upouští a může se používat jen pro dodávky pouze pro tuzemské podniky, ale i v těchto případech se již většinou používá značení dle evropských norem.

Základ značení tvoří pětimístné číslo, které označuje základní materiál.

## 11 375.11

**První číslice** – v základní značce je 1 a označuje tvářenou ocel.

**Druhá číslice** – ve spojení s první číslicí označuje třídu oceli.

**Třetí a čtvrtá číslice** – mají různý význam podle třídy oceli.

U ocelí tříd 10 a 11 značí pevnost v tahu v desítkách MPa ( $11375 = 370 \text{ MPa}$ ). Pokud je u třídy 11 třetí číslice 1 tak jde o automatovou ocel zvláště vhodnou k obrábění a význam čtvrté charakterizuje střední obsah uhlíku v desetinách procenta, zaokrouhlený na nejbližší celé číslo. Je-li střední obsah uhlíku menší než 0,1 %, používá se číslice 0.

U ocelí tříd 12 až 16 vyjadřuje třetí číslice součet středních obsahů legovacích prvků v procentech, zaokrouhlený na nejbližší celé číslo. Čtvrtá číslice vyjadřuje střední obsah uhlíku v desetinách procenta se zaokrouhlením setin od 3 na vyšší desetinné číslo.



U ocelí 17 a 19 vyjadřuje třetí číslice typ legování ocelí jednotlivými legovacími prvky nebo skupinou hlavních legovacích prvků. Čtvrté číslo vyjadřuje obsah hlavních legovacích prvků.

**Pátá číslice** – pořadové číslo.

Doplňkové číslo

**První doplňková číslice** – označuje stav oceli daný tepelným zpracováním

**Druhá doplňková číslice** – označuje stupeň přetváření ocelových pásů a plechů

## 8.2 Mechanické vlastnosti materiálu

Při samotném zpracovávání materiálu na dělicích linkách jsou hodnoty mechanických vlastností důležité pro nastavení jednotlivých agregátů. Pro rovnání a tím také pro nastavení rovnaček má největší vliv mez kluzu. Z tahové zkoušky se běžně zjišťují hodnoty meze kluzu, meze pevnosti, tažnosti a kontrakce.

### 8.2.1 Mez kluzu

Mez kluzu určuje, při jakém napětí vznikají v materiálu plastické deformace. Je to hranice mezi elastickou a plastickou deformací. Do této hodnoty napětí se materiál při odebrání působící síly vrátí do původního stavu. Při překročení meze kluzu dochází k prodloužení materiálu bez dalšího zvětšování působící síly. Značí se  $R_e$ . U materiálů, které nemají výraznou mez kluzu se určuje tzv. smluvní mez kluzu. Stanoví se z tahového diagramu v místě, kde prodloužení dosáhne stanovené hodnoty prodloužení nejčastěji o 0,2 % původní délky. Takto určená smluvní mez kluzu se označuje  $R_{p0,2}$ .

### 8.2.2 Mez pevnosti

Mez pevnosti v tahu je určena napětím v okamžiku přetržení zkušební vzorku. Síla je vztažena na původní velikost průřezu vzorku. Značí se  $R_m$ .

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (8.1)$$

Kde  $F_m$  je síla, která předchází přetržení vzorku,  $S_0$  je počáteční průřez vzorku.

### 8.2.3 Tažnost

Vyjadřuje plastické vlastnosti materiálu. Materiál se snadněji deformuje, čím je hodnota tažnosti vyšší. Tažnost je definována jako poměr změny délky k počáteční délce. Poměrné prodloužení se vypočte podle vzorce 8.2.

$$\varepsilon = \frac{L_u - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (8.2)$$

Tažnost  $\varepsilon$  se vypočte jako poměrné prodloužení v procentech k počáteční délce.

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100 \quad (8.3)$$

Ve způsobu značení číslo v indexu vyjadřuje počáteční měřenou délku, např.  $A_{80}$  znamená, že počáteční měřená délka vzorku  $L_0$  byla 80 mm.

Aby bylo možné porovnávat vzorky materiálů různých průřezů profilů tak se délka  $L_0$  volí výpočtem dle vzorce, kde  $x$  je poměrové číslo a  $S_0$  je počáteční plochou průřezu. Tak, jak je to zobrazeno ve vzorci 8.4.

$$L_0 = x \cdot \sqrt{S_0} \quad (8.4)$$

$$L_0 = 5,65 \cdot \sqrt{S_0} \quad (8.5)$$

Takto získaná hodnota tažnosti se označuje poměrovým číslem v indexu. Pro rovnici 8.5 se toto označení tažnosti zapisuje  $A_{5,65}$ .

### 8.2.4 Kontrakce

Stejně jako tažnost vyjadřuje plastické vlastnosti materiálu. Vyjadřuje největší změnu příčného průřezu po přetržení tyče. Měří se v místě lomu a porovnává se s počáteční plochou příčného průřezu  $S_0$ . Kontrakce  $Z$  se udává v % a získá se výpočtem ze vztahu 8.6.

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \quad (8.6)$$

### 8.3 Jakosti oceli zpracovávané příčně dělicí linkou

Největší podíl zpracovávaných jakostí oceli příčně dělicí linkou tvoří konstrukční oceli S235JR, S355JR a S355MC. V malé míře pak hlubokotažná ocel DD11 a uhlíková ocel pro zušlechťování a kalení C45E.

#### 8.3.1 S235JR

Nelegovaná jakostní konstrukční ocel se zaručenou svařitelností vhodná pro ocelové konstrukce vystavené statickému a mírnému dynamickému namáhání, tlaková zařízení s teplotou do 300 °C, skříně a vtokové soustavy vodních turbín, mosty, jeřáby, součástí dopravních prostředků, konstrukce železničních vozů.

|                                    |              |
|------------------------------------|--------------|
| Norma oceli                        | ČSN EN 10025 |
| Značení dle ČSN EN 10027-1:        | S235JR       |
| Číslo materiálu dle ČSN EN 10025-2 | 1.0038       |
| Značení dle ČSN 42 0002:           | 11 375       |

Ocel určená pro tváření za studena musí být označena písmenem C (S235JRC). To se týká i tažení za studena.

**Tabulka 8.2 – Chemické složení oceli S235JR**

| Chemické složení oceli S235JR pro výrobky tloušťky $t \leq 16$ v % |         |        |        |        |
|--|---------|--------|--------|--------|
| C max.   | Mn max. | P max. | S max. | N max. |
| 0,19   | 1,5     | 0,045  | 0,045  | 0,014  |

Mechanické vlastnosti

|                             |             |
|-----------------------------|-------------|
| Mez kluzu $R_e$ :           | 235 MPa     |
| Mez pevnosti v tahu $R_m$ : | 360–510 MPa |
| Tažnost $A_{5,65}$ :        | 26 %        |

### 8.3.2 S355JR

Nelegovaná konstrukční jemnozrnná jakostní ocel vhodná ke svařování. Mostní a jiné svařované konstrukce, ohýbané profily, svařované konstrukce z dutých profilů a součástí strojů, automobilů.

**Tabulka 8.3 – Chemické složení oceli S355JR**

| Chemické složení oceli S355JR pro výrobky tloušťky $t \leq 16$ v % |         |         |        |        |        |
|--|---------|---------|--------|--------|--------|
| C max.   | Mn max. | Si max. | P max. | S max. | N max. |
| 0,27   | 1,70    | 0,60    | 0,045  | 0,045  | 0,014  |

|                                    |              |
|------------------------------------|--------------|
| Norma oceli                        | ČSN EN 10025 |
| Značení dle ČSN EN 10027–1         | S355JR       |
| Číslo materiálu dle ČSN EN 10025–2 | 1.0045       |
| Značení dle ČSN 42 0002            | 11 523       |
| Mechanické vlastnosti              |              |
| Minimální mez kluzu $R_e$          |              |
| Do tloušťky 16 mm:                 | 355 MPa      |
| Mez pevnosti v tahu $R_m$          |              |
| pro tloušťky 3–10 mm:              | 470–630 MPa  |
| Tažnost $A_{5,65}$ :               | 23 %         |

### 8.3.1 S355MC

Konstrukční mikrolegovaná ocel s vyšší mezí kluzu vhodná pro tváření určená pro ploché výrobky válcované za tepla. Používá se pro výrobu ohýbaných profilů, energetických a tepelných zařízení. M označuje, že ocel je termomechanicky válcovaná a symbol C určuje vhodnost k tváření za studena.

|                                    |                |
|------------------------------------|----------------|
| Norma oceli                        | ČSN EN 10149–2 |
| Značení dle ČSN EN 10027–1         | S355MC         |
| Číslo materiálu dle ČSN EN 10027–2 | 1.0976         |

**Tabulka 8.4 – Chemické složení oceli S355MC**

| Chemické složení oceli S355MC v % |         |         |        |        |        |         |        |         |
|-----------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| C max.                            | Mn max. | Si max. | P max. | S max. | Al min | Nb max. | V max. | Ti max. |
| 0,12                              | 1,50    | 0,50    | 0,025  | 0,020  | 0,015  | 0,09    | 0,20   | 0,15    |

## Mechanické vlastnosti

|   |             |
|---|-------------|
| Minimální mez kluzu $R_e$ :                     | 355 MPa     |
| Mez pevnosti v tahu $R_m$ :                     | 430–550 MPa |
| Minimální tažnost $A_{80}$ pro $t < 3$ mm:      | 19 %        |
| Minimální tažnost $A_{5,65}$ pro $t \geq 3$ mm: | 23 %        |

### 8.3.2 DD11

Nízkouhlíková hlubokotažná ocel vhodná na dynamicky namáhané části vozidel, vyznačují se zvýšenou tvářitelností za studena.

Dodávky materiálu se řídí ČSN EN 10111 – Plechy a pásy z nízkouhlíkových (hlubokotažných) ocelí kontinuálně válcované za tepla k tváření za studena.

|                                    |              |
|------------------------------------|--------------|
| Norma oceli                        | ČSN EN 10111 |
| Značení dle ČSN EN 10027–2         | DD11         |
| Číslo materiálu dle ČSN EN 10027–2 | 1.0332       |
| Značení dle ČSN 42 0002            | 11 320       |

**Tabulka 8.5 – Chemické složení oceli DD11**

| Chemické složení oceli DD11 v % |         |        |        |
|---------------------------------|---------|--------|--------|
| C max.                          | Mn max. | P max. | S max. |
| 0,12                            | 0,60    | 0,045  | 0,045  |

## Mechanické vlastnosti

|   |             |
|---|-------------|
| Mez kluzu $R_e$<br>pro tloušťky 2–11 mm:            | 170–340 MPa |
| Maximální pevnost v tahu $R_m$ :                    | 440 MPa     |
| Minimální tažnost $A_{80}$ :<br>pro tloušťky 2–3 mm | 24 %        |
| pro tloušťky 3–11 mm                                | 28 %        |

### 8.3.3 C45E

Jde o uhlíkovou nelegovanou konstrukční ocel určenou pro výrobu velkých výkovků, zušlechťování a povrchovému kalení. Ocel je vhodná pro výrobu hřídelů těžních strojů, turbokompresorů, karuselů apod., na větší ozubená kola, šneky, ozubené věnce, rotory šroubových kompresorů, ojnice, pístnice, vřetena, plunžry lisů, písty kompresorů, čepy, šrouby, stavěcí rouby, dopravní válečky, vodící čepy, lamely spojek, lůžka, páky, zarážky, kolíky, různé spojovací součásti, posouvací vidlice, držáky, unášeče satelitů, vahadla, západky, upínací a stavebnicové části nástrojů, vrtací tyče, frézovací trny. Ocel má obtížnou svařitelnost.

Norma oceli: ČSN EN 10083–1

Značení dle ČSN 42 0002: 12 050

Značení dle ČSN EN 10027–1: C45E

Číslo materiálu dle ČSN EN 10027–2: 1.1191

**Tabulka 8.6 – Chemické složení oceli C45E**

| Obsah prvků v % |         |              |        |        |         |         |         |               |
|-----------------|---------|--------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------------|
| C               | SI max. | Mn           | P max. | S max. | Cr max. | Mo max. | Ni max. | Cr+Mo+Ni max. |
| 0,42 až 0,50    | 0,40    | 0,50 až 0,80 | 0,030  | 0,035  | 0,40    | 0,10    | 0,20    | 0,63          |

Mechanické vlastnosti ve stavu normalizačně žíhaném

Pro tloušťku  $t \leq 16$

Minimální mez kluzu  $R_e$  360 MPa

Minimální pevnost v tahu  $R_m$  620 MPa

Minimální tažnost  $A_{5,65}$  14 %

Mechanické vlastnosti v zušlechtěném stavu.

Pro tloušťku  $t \leq 16$

Minimální mez kluzu  $R_e$  430 MPa

Pevnost v tahu  $R_m$  700–850 MPa

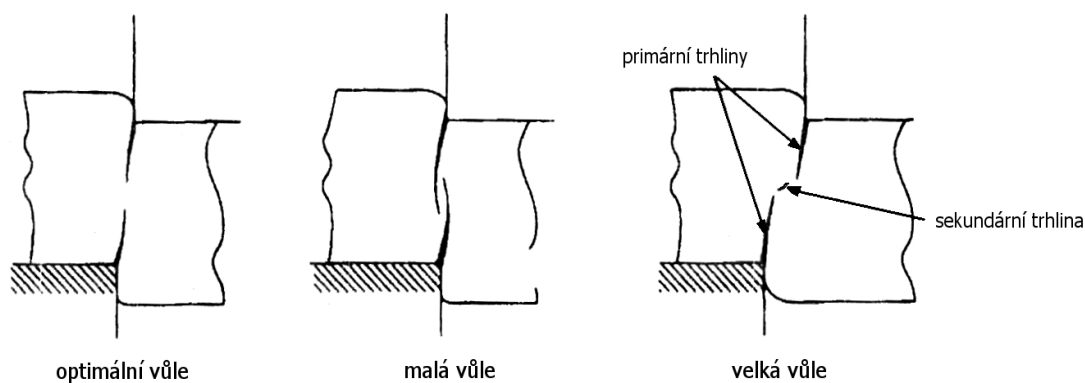
Minimální tažnost  $A_{5,65}$  14 %



## 9 Střih materiálu

Samotný průběh dělení materiálu lze rozdělit do několika oblastí.

- Fáze pružné deformace – břity nožů následkem vzniku silové dvojice stlačují materiál, který se ohýbá a tím se deformuje, tento stav trvá až do dosažení meze kluzu  $R_e$ .
- Fáze plastické deformace – napětí v materiálu se zvyšuje nad mez kluzu, dochází k plastické deformaci, břit nože vniká částečně do materiálu
- Fáze porušení materiálu – při překročení meze pevnosti ve smyku se v místech styku břitů nožů s materiálem začínají vznikat trhlinky, které se postupně zvětšují až dojde k jejich spojení a tím k utržení materiálu (usmyknutí).



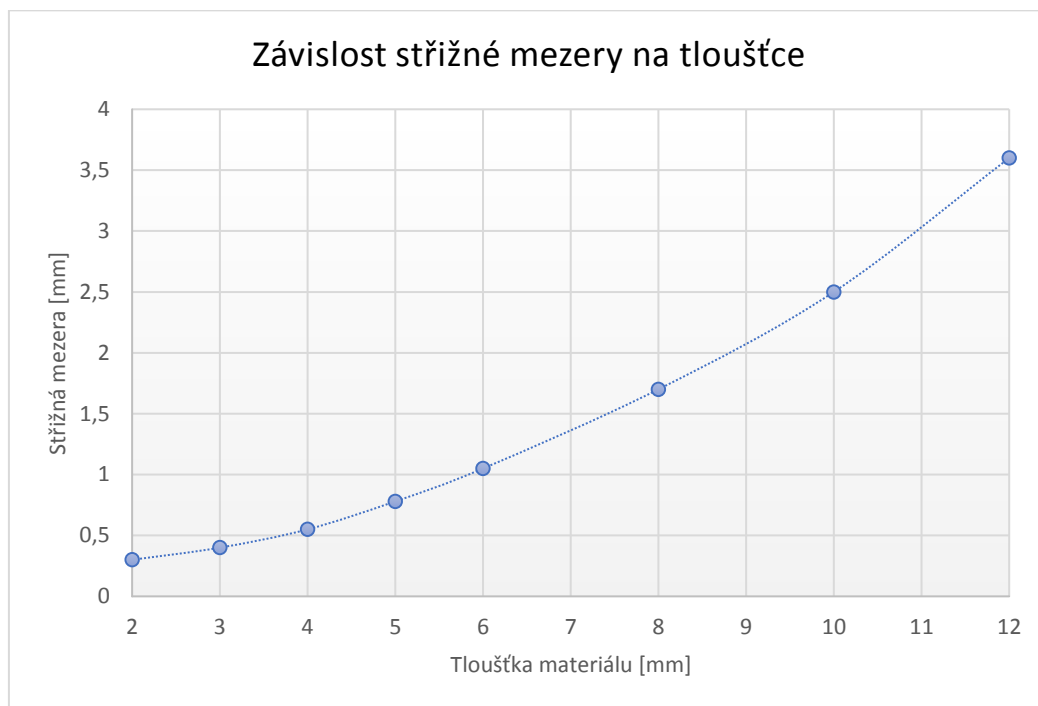
Obrázek 9.1 – Vliv střižné mezery na kvalitu střihu<sup>10</sup>

V praxi používané velikosti střižných mezer jsou zobrazeny v tabulce 9.1. Záporné hodnoty přesazení nožů znamenají, že mezi noži je mezera a při hodnotách kladných jsou nože přesazený přes sebe.

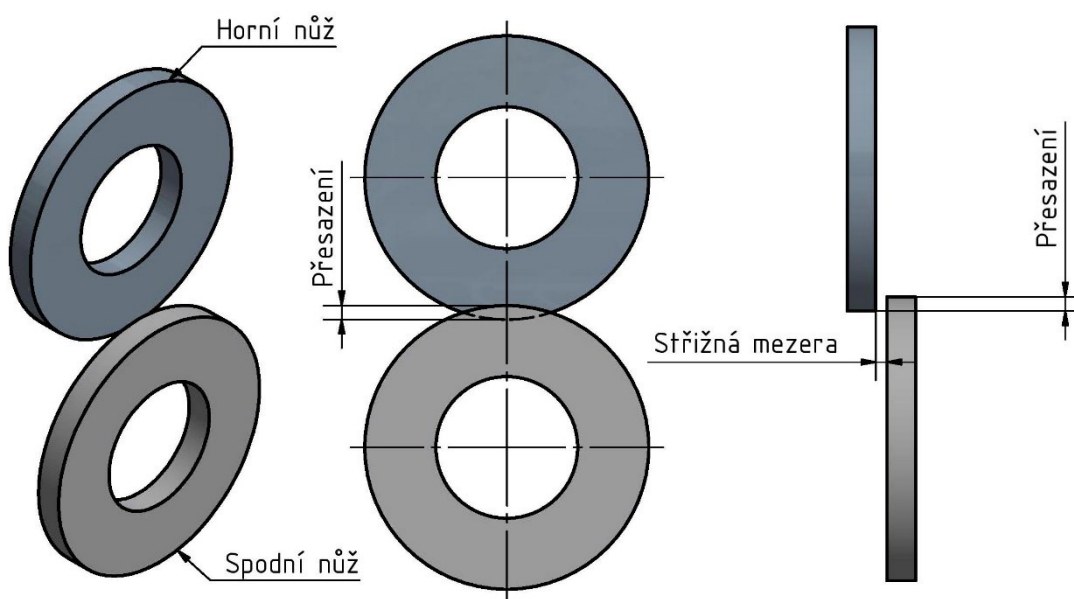
Tabulka 9.1 – Nastavení střižné mezery a přesazení nožů

| Tloušťka<br>[mm] | Střižná mezera |                             | Přesazení nožů<br>[mm] |
|------------------|----------------|-----------------------------|------------------------|
|                  | [mm]           | V % z tloušťky<br>materiálu |                        |
| 2                | 0,3            | 15                          | 0,4                    |
| 3                | 0,42           | 16                          | 0,2                    |
| 4                | 0,51           | 17                          | -0,1                   |
| 5                | 0,85           | 18                          | -0,4                   |
| 6                | 1,14           | 19                          | -0,4                   |
| 8                | 1,68           | 20                          | -0,8                   |
| 10               | 2,5            | 25                          | -1,1                   |
| 12               | 3,6            | 30                          | -1,5                   |

Velikost střížné mezery roste nelineárně a se zvyšující se tloušťkou se zvyšuje i poměr střížné mezery k tloušťce stříhaného materiálu, jak je zobrazeno v grafu na obrázku 9.2. Podle opotřebení střížných hran nožů je možno střížnou mezeru měnit tak, aby bylo dosaženo co nejvyšší kvality střížené hrany. Nastavení malé nebo velké střížné mezery má negativní vliv na kvalitu střížené hrany.



**Obrázek 9.2 – Graf závislosti střížné mezery na tloušťce materiálu**

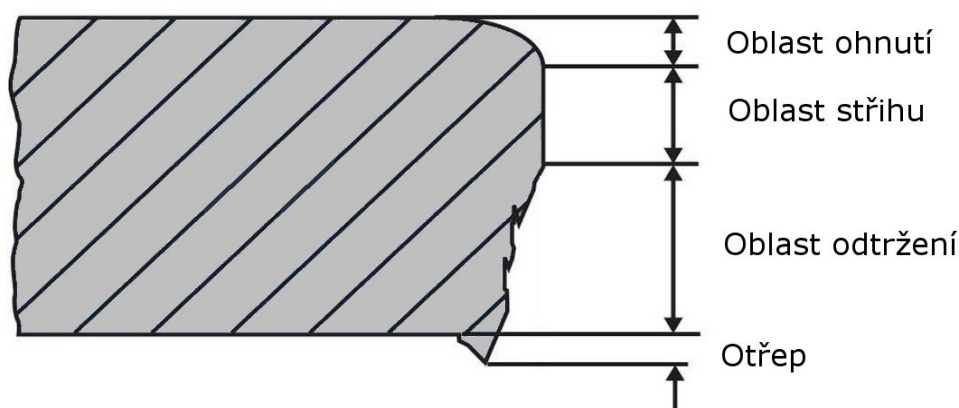


**Obrázek 9.3 – Kotoučové nůžky, zobrazení přesazení a střížné mezery**

Při optimálně nastavené střížné mezeře se trhlíčky jdoucí od střížných hran nožů setkají a tím je dosaženo, že se stříhaný materiál oddělí za použití minimální střížné síly. Pokud je nastavena příliš malá střížná mezera tak se trhlíčky nesetkají a tím nedojde k čistému odtržení materiálu což má vliv na kvalitu výsledné střížené hrany a také je zapotřebí vyšší střížná síla. V případě velké střížné mezery je hrana v místě průniku nože do materiálu ohnutá, oblast průniku nože je zvětšená a střížená hrana je šikmá.

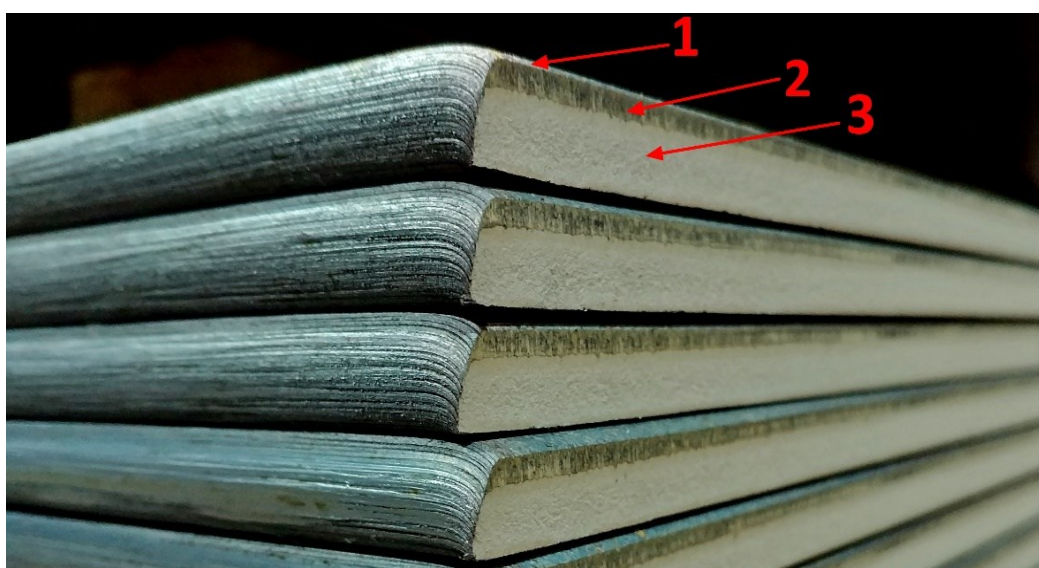
Při stříhu materiálu kruhovými noži se postupně mění úhel střížné hrany od největšího v místě záběru až po nulu.

Při stříhu šikmými noži se hodnota přesazení nožů nenastavuje, protože na rozdíl od stříhu kruhovými noži hrana šikmého nože prochází celou tloušťkou materiálu.



**Obrázek 9.4 – Detail střížené hrany,**

zdroj: <https://www.thefabricator.com/article/stamping/r-d-update-examining-edge-cracking-in-hole-flanging-of-ahss-part-ii> (upraveno)

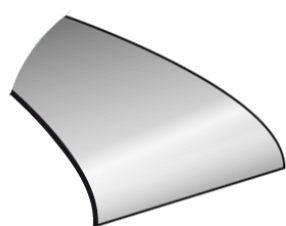


**Obrázek 9.5 – Detail skutečné střížené hrany,**

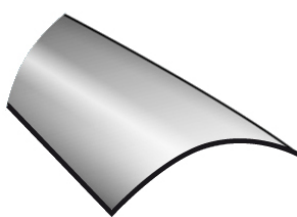
(1 – zaoblížení materiálu, 2 – oblast stříhu, 3 – oblast odtržení materiálu)

## 10 Rovnání ocelových pásů

Rovnání plechu patří mezi plošné tváření materiálu. Existuje několik způsobů rovnání jako například rovnání plamenem, pod lisem, pomocí ručního nářadí, ale tyto metody jsou vhodné spíše opravy, nebo kusovou výrobu. Pro průmyslové použití, kde dochází ke zpracovávání velkých objemů materiálu se používají speciální stroje (rovnačky) určené pro konkrétní použití, které mají vysokou produktivitu a efektivitu rovnání. Na obrázku 10.1 jsou vyobrazeny základní typy vad, které jsou nežádoucí a je možno do jisté míry provést jejich odstranění pomocí rovnaček.



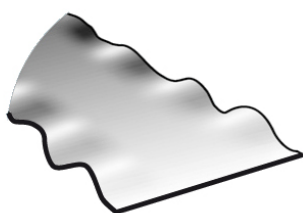
podélné prohnutí pásu



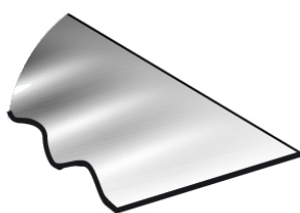
příčné prohnutí pásu



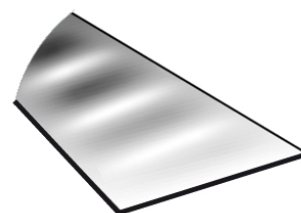
zkroucení pásu



oboustranně  
zvlněné hrany



jednostranně zvlněná  
hrana



zvlnění středu  
pásu

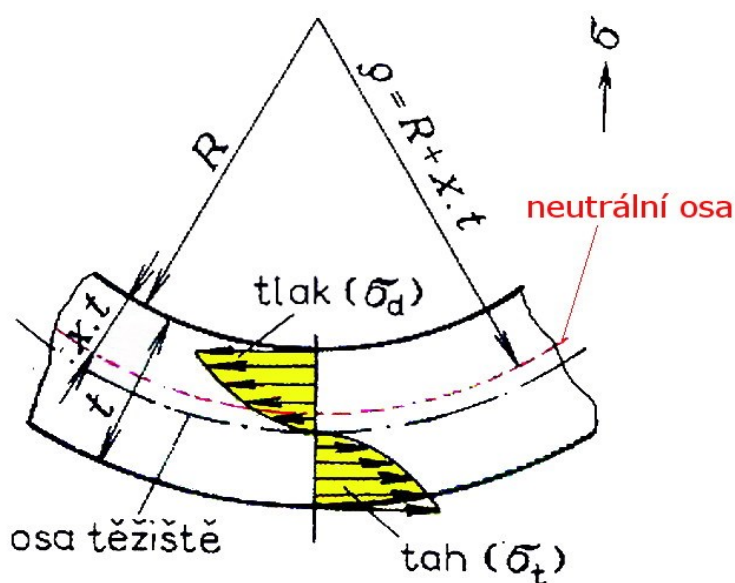
**Obrázek 10.1 – Druhy vad geometrie pásu,**  
*zdroj: <https://www.thefabricator.com/article/stamping/leveling-beyond-the-coil> (přepřacováno)*

## 10.1 Rovnání za použití válečkových rovnaček

Nejrozšířenějším způsobem rovnání plechu je rovnání válečkovými rovnačkami. Rovnaný materiál prochází soustavou válců, ve kterých je postupně střídavě ohýbán do dvou různých směrů.

Materiál je zapotřebí zakřivit po celé jeho šířce a to do obou směrů což se provádí jeho postupným průchodem mezi horními a spodními válci rovnačky. Ohyb musí být větší než byla původní deformace. Vstupní část válců je více přesazena a dochází v ní k velkému ohybu rovnaného materiálu, po těchto deformacích zůstává v materiálu velké zbytkové napětí. Materiál postupně prochází všemi válci a každý následující válec má menší přesazení a tím se postupně zmenšuje ohyb a také se snižují zbytková vnitřní napětí. Výstupní část rovnačích válců je proto určena k minimalizaci zbytkových napětí v materiálu a přesazení válců musí takové, aby plech po průchodu přes poslední válec a následném odpružení zůstal rovný.

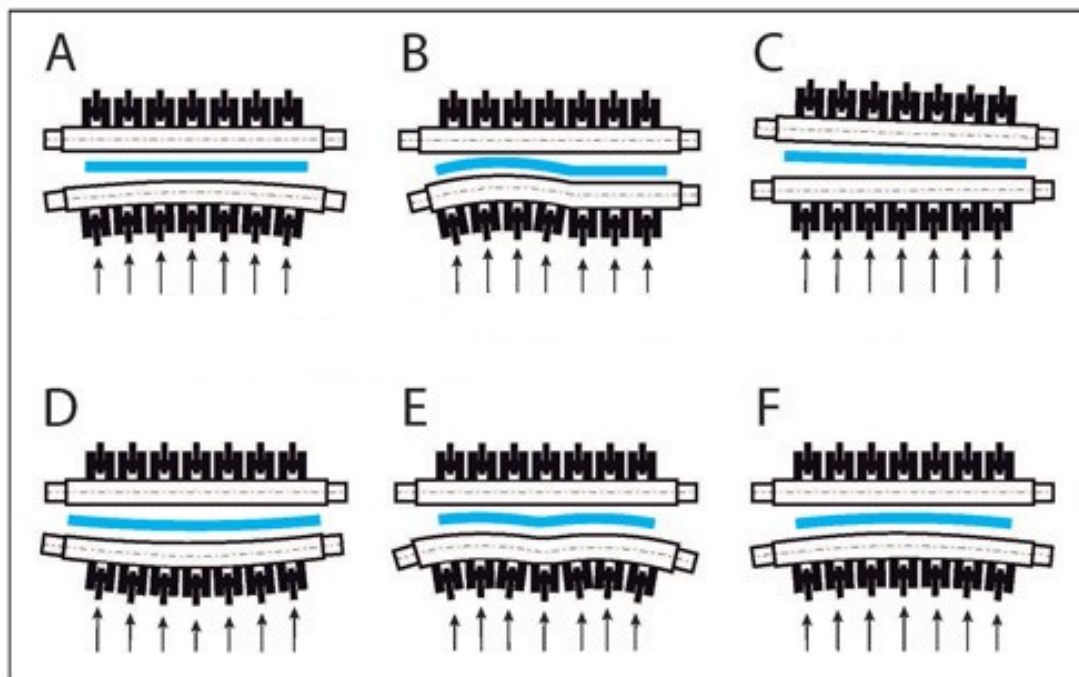
Při ohybu materiálu působí na vnitřní straně ohybu tlaková napětí a materiál je v tomto místě stlačován. Naopak na vnější straně ohybu způsobují tahová napětí prodloužení vláken. Pro dosažení plastické deformace je potřeba, aby napětí bylo nad mezí kluzu  $R_e$ . Obě tyto napětí se ve směru ke středu zmenšují a mezi těmito dvěma oblastmi se nachází neutrální oblast což je oblast, kde nedochází k plastické deformaci. Délka vláken je v této oblasti stejná jako u výchozího materiálu před ohybem. Neutrální osa není při ohybu v ose tloušťky materiálu, ale je posunuta směrem k vnitřní straně ohybu.



Obrázek 10.2 – Napětí v materiálu při ohybu,

Zdroj: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/07.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm)

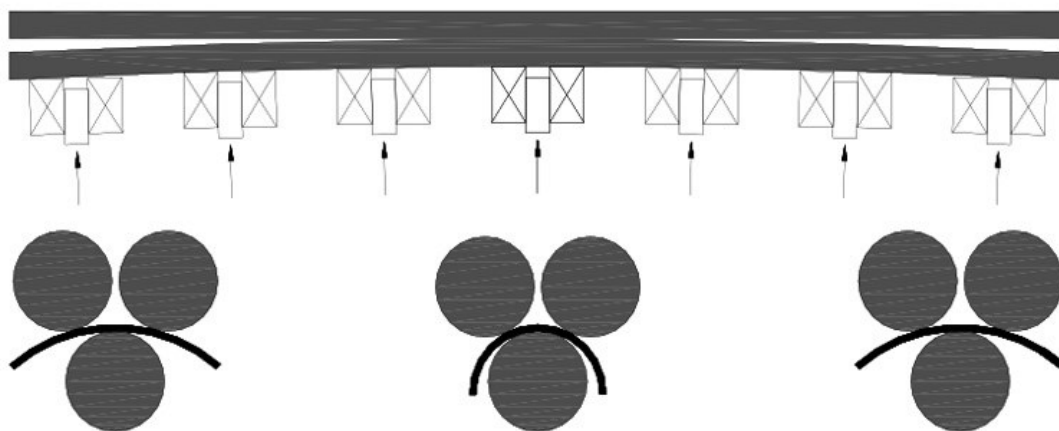
U moderních válečkových rovnaček je možné pomocí přítlaku opěrných válců dosáhnout prohnutí pracovních válců. Tohoto se využívá pro odstranění vlnitosti pásů. V rovné části pásu dojde zvětšením přítlaku k prohnutí válce, čímž je tato část válce více přesazena než část ve zvlněném místě a dochází zde k větší deformaci. V těchto místech se materiál prodlouží čímž dochází ke srovnání délek po celé šířce pásu a tím dojde odstranění vlnitosti.



**Obrázek 10.3 – Příklady prohnutí válců,**

*zdroj: <https://camu.it/en/levelling/>*

Na obrázku 10.4 je zobrazeno nastavení prohnutí válců rovnačky pro odstranění oboustranné vlnitosti okrajů pásu. Ve střední části je válec více přitlačen, čímž dojde k jeho prohnutí a dochází k větší deformaci materiálu než na okrajích.



**Obrázek 10.4 – Prohnutí pracovního válce,**

*zdroj: <http://www.machineconcepts.com/education-training/equipment-differences>*

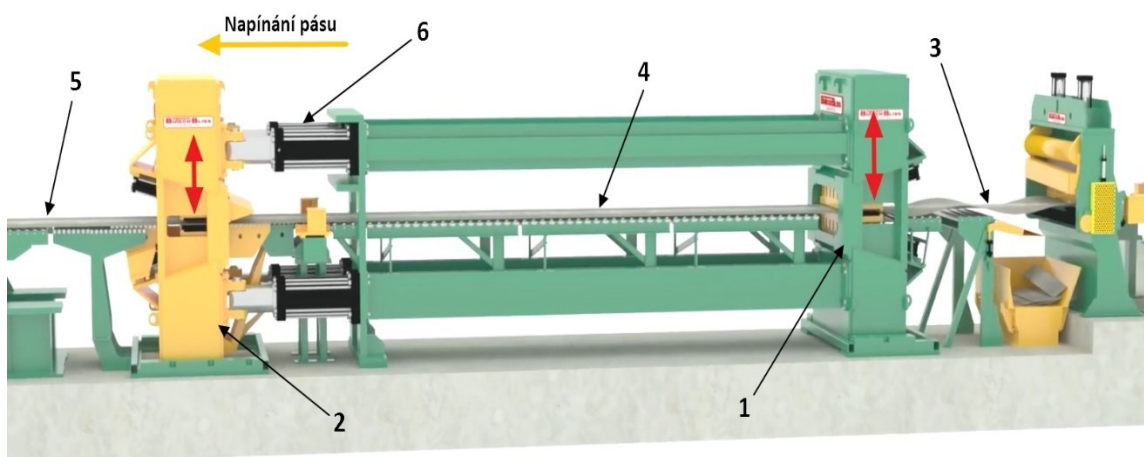


## 10.2 Rovnání napínáním

Rovnání pásu napínáním je nejúčinnější metoda pro odstranění vad geometrie pásu. Odstraňuje vady, které jsou zapříčiněny různými délkami vláken v měřeném úseku pásu. Při vlnitosti je délka pásu v měřeném úseku v místě vlny větší než v místě rovném bez vln, tak stejně jako při šavlovitosti, kde délka vláken se mezi hranami pásu postupně mění, dále také při podélném prohnutí pásu, kde jsou vlákna na vnější straně průhybu delší než na vnitřní straně.

Rozvinutá část pásu se uchytí na koncích rovnaného úseku mezi čelisti. Čelisti jsou na jednom konci pevně uchyceny a na druhém konci čelisti pohyblivé v podélném směru rovnaného pásu. Jejich pohyb je zajišťován soustavou hydraulických válců. Po uchycení pásu dojde pomocí hydraulických válců k napínání pásu. Postupně se začínají kratší vlákna prodlužovat, vzniká jejich plastická deformace a napíná se až do chvíle, kdy všechna vlákna průřezu v rovnaném úseku mají stejnou délku, čímž dochází k odstranění vlnitosti, podélného prohnutí a také šavlovitosti. Po uvolnění napnutí pásu a rozevření čelistí dochází k jeho posuvu o vzdálenost rovnaného úseku. Srovnaný pás je dále nastříhán na jednotlivé tabule. Tento způsob rovnání po úsecích má nižší produktivitu než kontinuální rovnání pomocí válečkových rovnaček, ale efektivita rovnání je velmi vysoká, proto je vhodný na zpracování pásů s velkým výskytem vad geometrie a zvláště s větší velikostí vln, což znamená, že u takových pásů je velký rozdíl mezi délkami vláken.

Výrobci zabývající se touto technologií vyrábí linky, které dokáží takto zpracovávat pásy až do tloušťky 25 mm a šířky 2400 mm. Rovnačky těchto linek jsou konstrukčně jednodušší a z těchto důvodů jsou i méně náročné na údržbu.



**Obrázek 10.5 – Rovnačka pro napínání tahem**  
(1 – pevná svěrná kleština, 2 – pohyblivá svěrná kleština, 3 – vstupující zvlněný materiál,  
4 – napínaný materiál, 5 – vyrovnaný materiál, 6 – hydraulické válce),

*zdroj: <https://www.youtube.com/watch?v=NpzoFPiXTm0>*

## 11 Experimentální použití dvou rovnaček současně

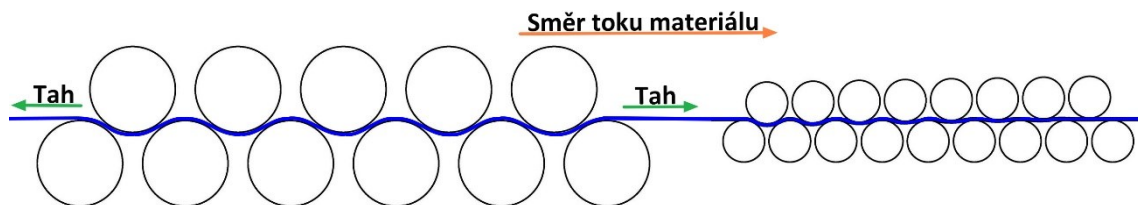
Při zvýšené vlnitosti materiálu, které již nelze srovnat běžným způsobem, to znamená jednou rovnačkou byla odzkoušena metoda, při které se používají obě rovnačky současně. Rovnačka č.1 má při této metodě přesazeny pracovní válce podstatně více než je tomu u běžného rovnání. Vstupní i výstupní část jsou zapuštěny stejně takže rovnaný pás díky velkému přesazení válců rovnačku opouští značně prohnutý, protože poslední tři válce fungují v té chvíli jako zakružovačka. Z těchto důvodů, bylo nutné použít i druhou rovnačku, která sloužila k vyrovnaní tohoto prohnutí. Materiál vystupující z této druhé rovnačky již nebyl podélně prohnutý, ale nepodařilo se zcela odstranit zvlnění pásu. Postupným zvyšování tahu v pásu mezi rovnačkami pomocí rovnačky č.2 bylo dosaženo snížení výšky vlny v některých případech i jejího úplného odstranění.



**Obrázek 11.1 – Extrémní zvlnění hrany pásu**

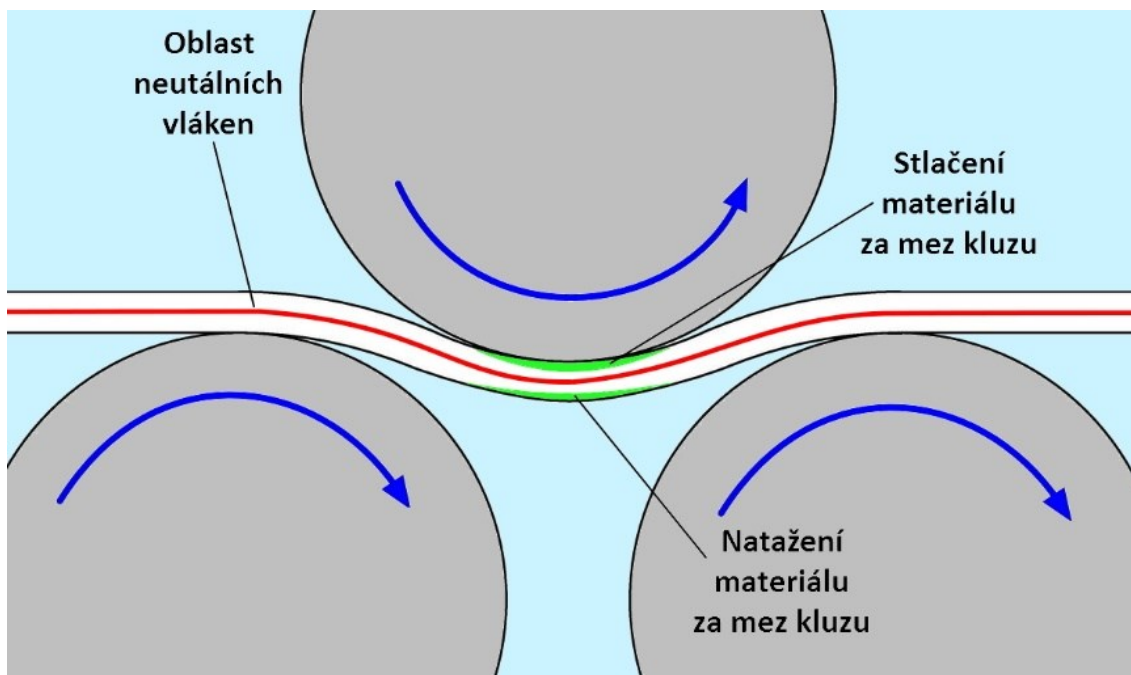
### 11.1 Princip rovnání dvěma rovnačkami a postup nastavení

U rovnačky č.2 musí být zvýšený tah což způsobuje, že při ohýbání pásu válci první rovnačky jsou vlákna na vnější straně ohybu natahována více než při ohýbání bez přidaného tahu. Naopak na vnitřní straně, kde působí tlaková napětí jsou vlákna méně stlačována než při ohybu bez přidaného tahu a to zapříčiňuje, že oblast neutrálních vláken, která nejsou stlačována ani natahována se přesouvá více směrem k vnitřnímu ohybu. Při průchodu válci se směr ohybu neustále střídá což znamená, že vlákna, která byla více natažená jsou při ohybu na následujícím válci stlačována a tím dochází k menšímu zkrácení, než bylo jejich předchozí natažení s to způsobuje jejich postupné prodloužení. Zvýšený tah se projevuje v místech šířky pásu, která nejsou zvlněná, protože tyto části jsou kratší než části zvlněné. Postupným prodlužováním kratších vláken v nezvlněné části šířky plechu se tyto vlákna srovnají s délkou vláken v části zvlněné a tím dochází k odstranění vln. Jelikož vlna na materiálu nemá v různých místech šířky stejnou velikost např. vlnitý okraj pásu má nejvyšší výšku vlny na hraně pásu a postupně se vlna snižuje až do úplného ztracení (rovná část šířky pásu) tak se musí prodlužovat i zvlněné části. Aby bylo zajištěno úplné vyrovnaní zvlněného pásu tak je zapotřebí prodloužit pás po celé jeho šířce.

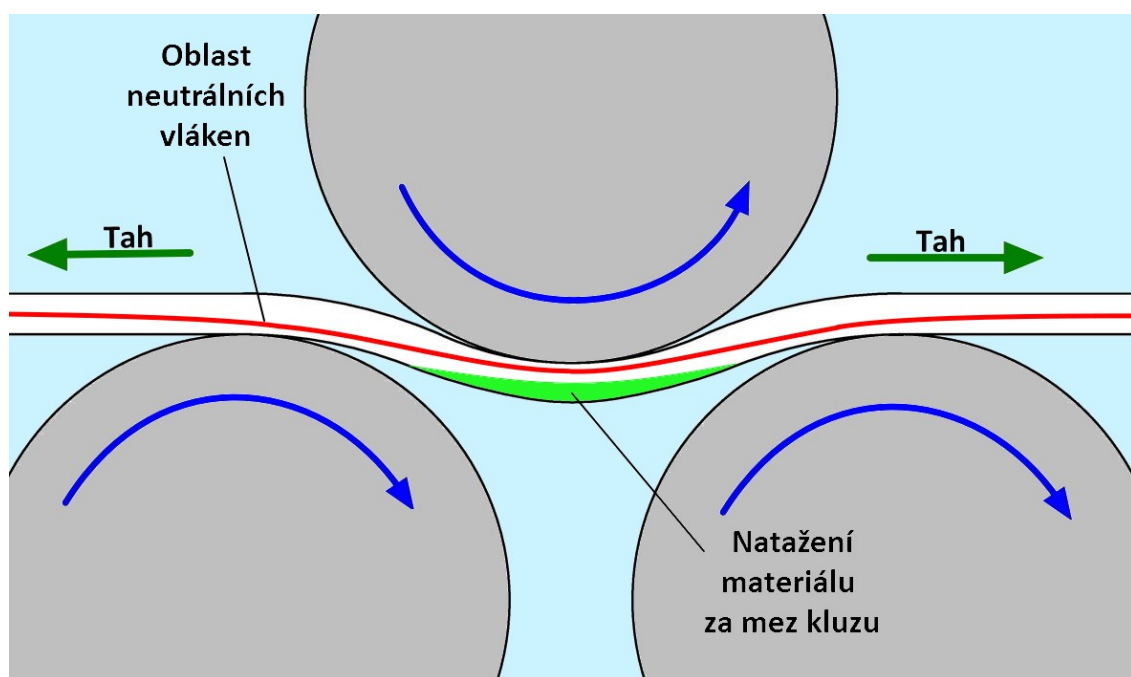


Obrázek 11.2 – Použití dvou rovnaček současně

Takto velké zapuštění pracovních válců způsobuje, že na výstupu rovnačky je materiál posledními třemi válci značně ohýbán a tím je vlastně skružován. Druhá rovnačka má tak za úkol nejen napínání pásu, ale také vyrovnaní skruženého plechu, což je zčásti zajištěno napnutým pásem přes poslední výstupní válec první rovnačky, ale hlavně ke srovnání dochází na vstupní části rovnačky, kde jsou válce více zapuštěny a směrem k výstupu se zapuštění snižuje až jsou hodnoty takové, kdy je zajištěn výstup rovného materiálu.



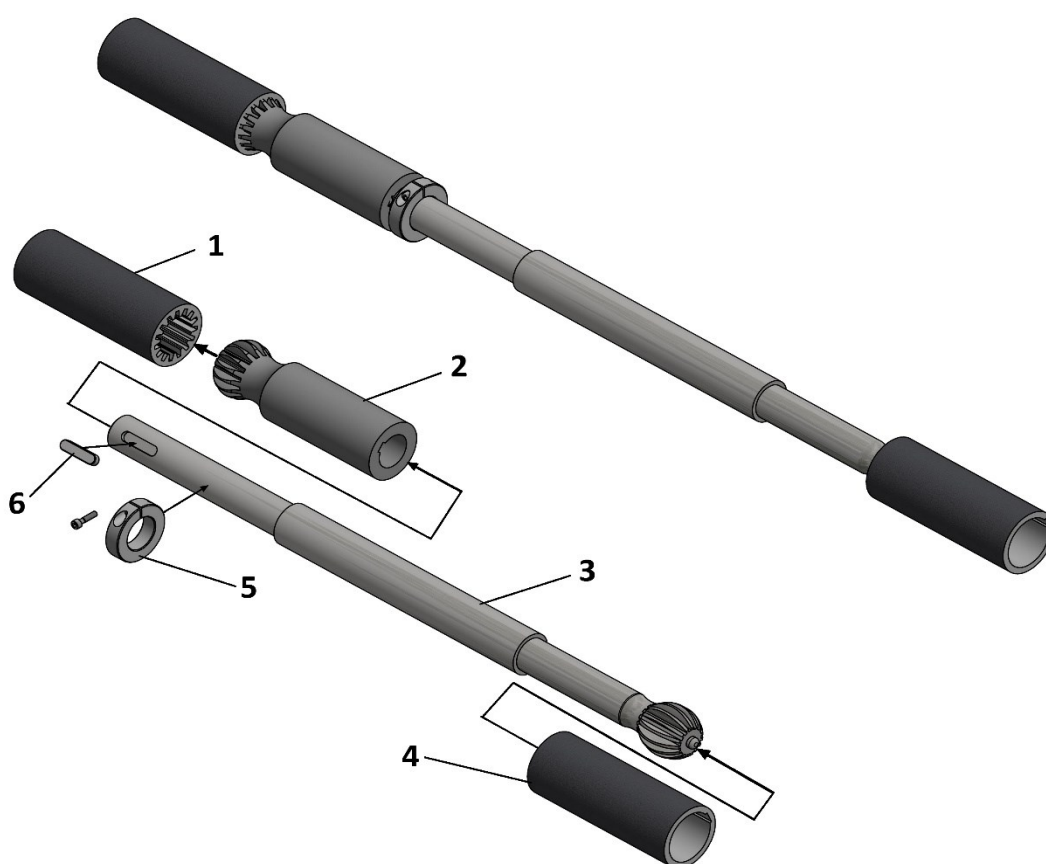
Obrázek 11.3 – Rovnání ohybem bez přidaného tahu



Obrázek 11.4 – Rovnání ohybem s přidaným tahem v pásu

Při tomto způsobu rovnání jsou kladeny zvýšené požadavky na rovnačky obzvláště na v pořadí druhou rovnačku. Tato rovnačka má úkol udržovat stálý tah v pásu a také vyrovnání značně zdeformovaného (skruženého) pásu. Jelikož dochází k prodlužování pásu musí mít druhá rovnačka vyšší obvodovou rychlost válců než první, aby byl vyrovnán rozdíl délek a přitom bylo neustále udržováno dostatečné napnutí pásu. Bylo zjištěno, že při snížení tahu pásu nedochází k jeho vyrovnání a některých případech i značnému nežádoucímu zdeformování což je zapříčiněno nedostatečným a nepravidelným natažením

jen části vláken, protože při protažení pásu dochází ke snížení napnutí v pásu mezi rovnačkami, které způsobí, že materiál není prodlužován a tah opět zroste. Tento se opakující jev způsobuje, že pás není vyrovnán a někdy i zhoršení původního stavu. Proto je regulace pohonů jednotlivých rovnaček důležitá a řešením je nastavení vyššího tahu v pásu než je teoreticky potřebné, protože nelze zajistit konstantní hodnotu tahu v pásu. I přes velmi přesnou regulaci pohonů dochází ke změně poměru potřebného výkonu rovnaček při rozjezdu i při různých rychlostech. Operátor toto sleduje na hodnotách proudu pohonu jednotlivých rovnaček. Při tomto způsobu je zvýšené riziko přetížení zařízení. Hrozí hlavně mechanické poškození, proto jsou spojovací tyče mezi pracovními válci a převodovkou rovnačky vybaveny střížným perem jako pojistkou (viz obrázek 11.5). Pokud je zařízení přetíženo dojde k přestřížení pera. Největší namáhání je na vstupních válcích, které jsou nejvíce přesazeny. a právě na těchto tyčích je zvýšené riziko přestřížení pojistky. Oprava je relativně snadná, ale i přesto může zapříčinit prostoje několika hodin.



Obrázek 11.5 – Spojovací tyč

(1 – drážkový náboj spojený s výstupní hřídelí převodovky, 2 – náboj spojovací tyče, 3 – spojovací tyč, 4 – drážkový náboj spojený s pracovním válcem, 5 – objímka, 6 – pero)





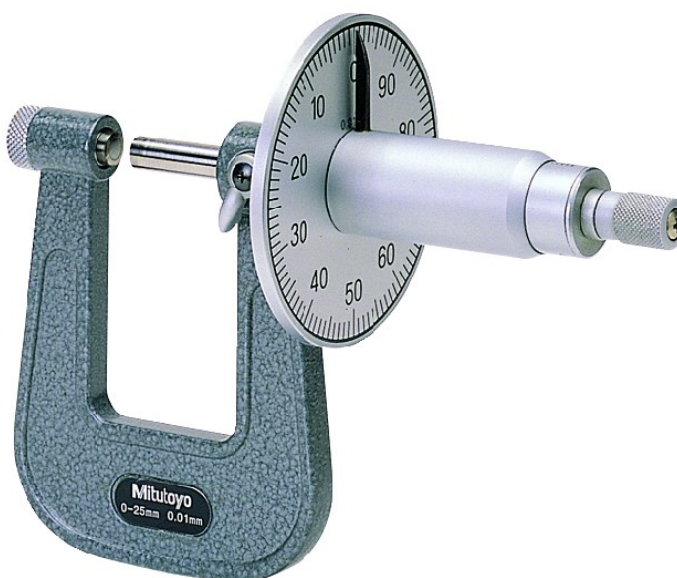
**Obrázek 11.6 – Spojovací tyče 17válečkové rovnačky**

Jedním z řešení může být nahrazení spojovacích tyčí s pery za tyče u kterých při překročení nastaveného krouticího momentu dojde k jejich prokluzu a po odlehčení zařízení je možno okamžitě pokračovat ve výrobním procesu. Nevýhodou těchto tyčí je jejich vysoký cena.



## 11.1 Způsoby prováděných měření

Bylo provedeno měření deformací pásu po rovnání a to porovnáním naměřených hodnot před a po průchodu rovnačkami na vyznačeném úseku pásu. Bylo prováděno měření tloušťky, šířky a délky měřeného úseku. K měření tloušťky pásu byl použit třmenový mikrometr ve speciálním provedení na měření plechu (obrázek 11.7), který má hlubší vyložení třmene a číselník pro snadnější odečítání hodnot. Pro přesné měření šířky bylo použito posuvné měřítko 2 000 mm a délka měřeného úseku byla vyznačena a měřena pomocí ocelového pásma.

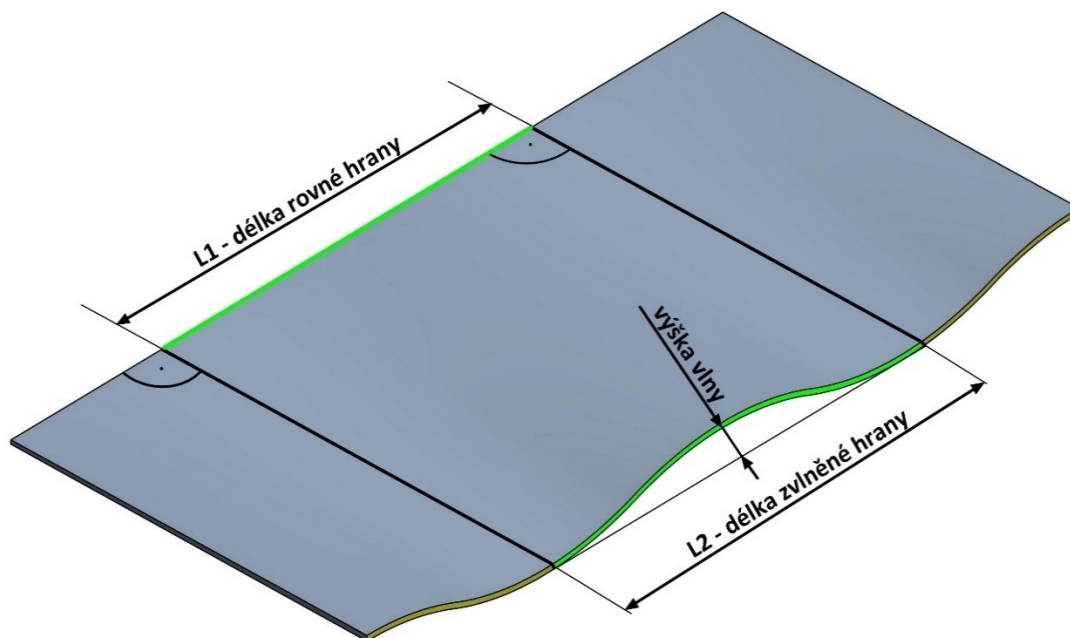


**Obrázek 11.7 – Třmenový mikrometr ve speciálním provedení pro měření plechů,**  
*zdroj: <https://shop.mitutoyo.cz>*

Po rozvinutí pásu byly na pásu vyznačeny body, ve kterých bylo prováděno měření tloušťky a šířky. Ve stejných bodech pak bylo prováděno měření vyrovnaného plechu po průchodu rovnačkami. Při měření délky sledovaného úseku byla na pásu vyznačena vzdálenost 1 000 mm a po průchodu rovnačkami byla opět vzdálenost změřena. Ze všech tří měřených rozměrů bylo při měření délky použito nejméně přesné měřidlo i metoda, proto byly výsledky tohoto měření kontrolovány i početně. Z hodnot změřených před rovnáním byl vypočten objem materiálu, který byl poté vydělen tloušťkou a šířkou naměřenou po průchodu rovnačkami. Výsledkem byla teoretická délka vyznačeného úseku pásu po průchodu rovnačkami. Porovnáním vypočtené a skutečné změřené délky byla provedena kontrola přesnosti prováděných měření.

Dalším prováděným měřením bylo měření délky vlnitého okraje pásu při jednostranné vlnitosti a porovnáním s délkou rovného okraje pásu ve stejném úseku. Úsek byl vyznačen dvěma kolmicemi k rovné hraně pásu a poté byly změřeny délky rovné i zvlněné hrany

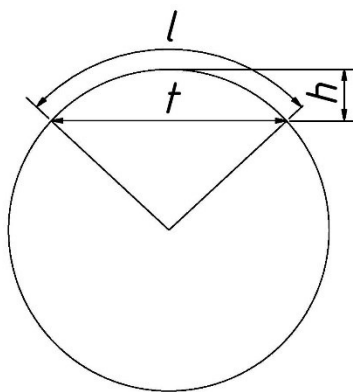
pásu. Odečtením hodnoty délky rovné hrany od délky zvlněné hrany byl spočten rozdíl délek. Výsledky měření byly porovnány pomocí výpočtu kruhové úseče (vzorec 11.1), kde délka tětivy představuje délku rovné hrany, délka oblouku je délkou zvlněné hrany a výška oblouku je výškou vlny (obrázky 11.8 a 11.9).



Obrázek 11.8 – Způsob měření rozdílu délky hran

Tento způsob měření byl časově náročný, proto bylo provedeno jen několik měření a poté byly další hodnoty vypočteny. Pro přehled závislosti rozdílů délek na výšce vlny a její délce byla vytvořena tabulka 11.4.

$$l = \frac{\pi}{180} \cdot \left( \frac{t^2}{4h} + h \right) \cdot \arcsin \left( \frac{t}{\frac{t^2}{4h} + h} \right) \quad (11.1)$$



Obrázek 11.9 – Kruhová úseč,  
( $t$  – délka tětivy,  $l$  – délka oblouku,  $h$  – výška oblouku),

## 11.2 Limity zařízení pro rovnání a doporučené nastavení rovnaček

Při prováděných měření bylo postupně zvyšováno přesazení válců rovnačky č.1 a tah v pásu. Experimentálně bylo zjištěno, že bezpečný provoz 17válečkové rovnačky je při odběru do 400 A. Nad tuto hodnotu se riziko přetížení zvyšuje. Tato hodnota byla zvolena i s ohledem na kolísání hodnot proudu, které je zapříčiněno změnami rychlosti při rozjezdu linky, při jejím zastavování a také při samotném chodu linku. Tím je dán i doporučený limit pro 17válečkovou rovnačku. Hodnoty se zvyšují s rostoucí tloušťkou materiálu a také se zvyšující se mezí kluzu. Doporučené maximální hodnoty proudu rovnačky při zatížení berou v úvahu i možnost krátkodobého překročení těchto hodnot až o několik desítek ampér.

V tabulce 11.1 je porovnání průměrných skutečných hodnot mechanických vlastností sledovaných pásů. Do souboru dat byly vloženy hodnoty z tahových zkoušek. Hodnoty vychází z tahových zkoušek vzorků odebraných z konkrétních sledovaných svitků. U jakostí DD11 a C45E nebylo prováděno měření deformací a průměrné hodnoty mechanických vlastností byly do tabulky přidány pouze kvůli srovnání.

**Tabulka 11.1 – Porovnání průměrných hodnot mechanických vlastností sledovaných svitků**

| Jakost | Mez kluzu $R_e$<br>[MPa] | Mez pevnosti<br>$R_m$ [MPa] | $A$ – tažnost [%] |
|--------|--------------------------|-----------------------------|-------------------|
| S235JR | 339                      | 426                         | 38                |
| S355JR | 463                      | 578                         | 27                |
| S355MC | 414                      | 464                         | 34                |
| DD11   | 311                      | 396                         | 33                |
| C45E   | 479                      | 721                         | 19                |

Nejlépeších výsledků při rovnání bylo podle předpokladu dosaženo u pásů z jakostí s nejnižší mezí kluzu a nejvyššími hodnotami tažnosti. Se zvyšující se mezí kluzu je obtížnější materiál vyrovnat.

Mezi jakosti, které jde dobře rovnat lze zařadit jakosti se skutečnou mezí kluzu přibližně do 350 MPa to znamená jakosti S235JR a DD11. U jakosti S235JR bylo testováno rovnání při použití dvou rovnaček až do tloušťky 5 mm, avšak při této tloušťce byly hodnoty proudu nad stanovenou bezpečnou hranicí. Z tohoto důvodu je doporučeno tímto způsobem rovnat materiál pouze do tloušťky 4 mm.

Mezi materiály jako obtížné pro rovnání můžeme označit jakosti jejichž skutečná mez kluzu je přibližně v rozmezí 350–480 MPa. Do této skupiny patří oceli jakostí S355MC

a S355JR, přičemž hodnoty meze kluzu jakosti S355JR se blíží k horní hranici určeného rozmezí. Největší testovaná tloušťka pásu byla 4 mm a velmi často hodnoty proudu překračovaly stanovenou bezpečnou mez. Proto je doporučeno v této tloušťce rovnat pouze užší pásy přibližně do šířky 1250 mm.

Jakosti se skutečnou mezí kluzu přibližně nad 480 MPa se dají považovat za materiály u kterých nelze docílit odstranění vlnitosti. Do této skupiny patří jakost C45E jejíž skutečná mez kluzu tuto hranici překračuje. Průměrná tažnost u této jakosti dosahovala pouze hodnoty 19 %.

V tabulce 11.2 je zobrazen výběr z naměřených hodnot tak, aby byly zastoupeny všechny základní sledované tloušťky. Z tabulky je patrné prodloužení měřeného úseku délky, zúžení pásu a zmenšení tloušťky.

**Tabulka 11.2 – Výběr změřených dat před a po rovnání**

| Jmenovitá tloušťka [mm] | Šířka [mm] |        | Tloušťka [mm] |      | Délka vyznačeného úseku [mm] |             | Vypočtená délka [mm] |
|-------------------------|------------|--------|---------------|------|------------------------------|-------------|----------------------|
|                         | Před       | Po     | Před          | Po   | Před                         | Po          | Po                   |
| 2                       | 1016,2     | 1015,5 | 2,01          | 1,99 | 1000                         | <b>1009</b> | 1010,3               |
| 3                       | 1506,0     | 1505,0 | 3,03          | 3,00 | 1000                         | <b>1011</b> | 1010,7               |
| 4                       | 1507,5     | 1506,7 | 3,99          | 3,94 | 1000                         | <b>1014</b> | 1013,3               |
| 5                       | 1508,5     | 1507,5 | 5,06          | 4,98 | 1000                         | <b>1017</b> | 1016,8               |

Proti předpokladům dochází k většímu prodloužení pásu s jeho zvětšující se tloušťkou. U materiálu větší tloušťky dochází při ohybu k většímu prodloužení vláken na vnější straně než v případě tenkých pásů. Pro větší natažení tenkých plechů, je zapotřebí menší rádius ohybu to znamená válce menších průměrů. Pro jednotlivé tloušťky byly otestovány přesazení válců a doporučené hodnoty jsou v tabulce 11.3. Dalším zvyšováním tahu v pásu nebylo dosaženo většího prodloužení, ale výrazný vliv byl při změnách přesazení válců, kdy při zvyšování přesazení docházelo k zvětšení prodloužení rovnaného pásu. Například u testování materiálu tloušťky 4 mm bylo při přesazení válců -10 mm dosaženo prodloužení materiálu 9 mm na jeden metr délky. Při snížení válců na hodnotu -12 mm bylo prodloužení materiálu 13 mm na jeden metr délky.

**Tabulka 11.3 – Doporučené přesazení válců podle tloušťky materiálu**

| Tloušťka [mm] | Přesazení válců [mm] |
|---------------|----------------------|
| 2             | -20                  |
| 3             | -16                  |
| 4             | -12                  |
| 5             | -8                   |

Záporné hodnoty v tabulce značí, že válce jsou o tyto hodnoty přesazený přes sebe. V případě kladných hodnot by to znamenalo mezeru mezi válci.

**Tabulka 11.4 – Vypočtené rozdíly délek rovného a zvlněného úseku v závislosti na délce vlny a její výšce**

|                 |     | Délka vlny [mm] |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|-----|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 |     | 1000            | 1200  | 1400  | 1600  | 1800  | 2000  | 2500  |
| Výška vlny (mm) | 5   | 0,07            | 0,06  | 0,05  | 0,04  | 0,04  | 0,03  | 0,03  |
|                 | 10  | 0,27            | 0,22  | 0,19  | 0,17  | 0,15  | 0,13  | 0,11  |
|                 | 15  | 0,60            | 0,50  | 0,43  | 0,37  | 0,33  | 0,30  | 0,24  |
|                 | 20  | 1,07            | 0,89  | 0,76  | 0,67  | 0,59  | 0,53  | 0,43  |
|                 | 30  | 2,40            | 2,00  | 1,71  | 1,50  | 1,33  | 1,20  | 0,96  |
|                 | 40  | 4,26            | 3,55  | 3,05  | 2,67  | 2,37  | 2,13  | 1,71  |
|                 | 50  | 6,65            | 5,55  | 4,76  | 4,16  | 3,70  | 3,33  | 2,67  |
|                 | 60  | 9,57            | 7,98  | 6,85  | 5,99  | 5,33  | 4,80  | 3,84  |
|                 | 80  | 16,98           | 14,17 | 12,16 | 10,65 | 9,47  | 8,52  | 6,82  |
|                 | 100 | 26,46           | 22,10 | 18,97 | 16,61 | 14,78 | 13,31 | 10,65 |

Z tabulky 11.4 vyplývá, že největší rozdíl délek je při nejkratších délkách vlny a její velké výšce. S prodlužující se délkou vlny klesají rozdíly délek mezi rovnou zvlněnou stranou. Za povšimnutí stojí, že už při rozdílech délek několika desetin milimetru mezi vlnitou a rovnou stranou dochází ke značnému nárůstu výšky vlny. Do výšky vlny 20 mm jsou hodnoty rozdílu menší než jeden milimetr. Z porovnání hodnot naměřených prodloužení pásu po rovnání a rozdílu délek rovné a zvlněné části pásu je patrné, že výška vlny není hlavním limitujícím faktorem a ve většině případů je prodloužení větší, než je minimálně potřebné.

V této práci nejsou uvedeny všechny přesné konkrétní hodnoty nastavení rovnaček, protože tyto hodnoty závisí také na opotřebení pracovních a opěrných válců a jejich vzájemném seřízení a postupně se mohou měnit. Operátoři linky mají k dispozici tabulku hodnot a pravidelně se provádějí jejich korekce. Hodnoty nejsou ani přenositelné na jiné zařízení obdobných parametrů a jsou použitelné pouze pro příčné dělicí linku FIMI společnosti AMDS.

## 12 Závěr

Z bakalářské práce „*Optimalizace nastavení rovnaček pro odstranění vlnitosti za tepla válcovaného plechu*“ vyplývají tyto závěry:

- a) Porovnáním změřených hodnot prodloužení pásu po průchodu rovnačkami (viz tabulka 11.2) a vypočtených hodnot rozdílů délek mezi rovnou a zvlněnou částí pásu (viz tabulka 11.4) bylo zjištěno, že prodloužení délky pásu je ve většině případů větší než rozdíly délek způsobující vlnitost. Prodloužením pásu dojde ke srovnání délek po celé šířce pásu, čímž dojde k odstranění vlnitosti. Z těchto zjištění vyplývá, že výška vlny není hlavním limitujícím faktorem pro odstranění vlnitosti. Hodnoty v tabulce 11.4 ukazují, že již při rozdílech několika desetin milimetrů mezi hranami měřeného úseku může vzniknout zvlnění delší hrany pásu. Limity pro úspěšné rovnání byly určeny mechanickými vlastnostmi materiálu a jeho rozměry především tloušťkou (viz 11.2).
- b) Při použití dvou rovnaček současně mají zásadní vliv na rovnání tahu v pásu před a za rovnačkou a správné přesazení válců. Při nízkém tahu nebo malém přesazení válců není dosaženo potřebného prodloužení pásu, naopak při velkém tahu nebo přesazení válců jsou rovnačky zbytečně zatěžovány (viz 11.1). Byly doporučeny hodnoty přesazení válců (tabulka 11.3) pro jednotlivé tloušťky. Dále byly doporučeny limity tlouštěk pro jednotlivé jakosti (viz 11.2) podle jejich mechanických vlastností tak, aby nedocházelo k přetížení zařízení a tím vzniku neplánovaných prostojů na opravu. Byl také popsán postup nastavování a udržování tahu v pásu a jeho vliv na vlastní rovnání (11.1).
- c) Zpracovaný rozbor vlivů jednotlivých činitelů na rovnání pasů (viz 11.2) a metodika optimalizace nastavení rovnaček pro odstranění vlnitosti za tepla válcovaného pásu bude sloužit pro zaškolení nových zaměstnanců na pozici operátora příčně dělicí linky. Informace zpracované v této práci jako jsou doporučené postupy nastavení, limity zařízení, popisy principů jednotlivých agregátů, popisy a vysvětlení procesů na dělicí lince, popisy vad a způsoby kontroly a také např. značení jakostí ocelí a jejich vlastnosti zkrátí a zkvalitní jejich přípravu.
- d) Zpracovaná metodika optimalizace nastavení rovnaček pro odstranění vlnitosti za tepla válcovaného plechu (viz 11.1) umožní snížit objem vyřazeného materiálu překračujícího normou povolenou mez (viz 7.1). Na příčně dělicí lince bylo jen

v roce 2017 vyřazeno na vlnitost přibližně 3 500 t materiálu. Zpracovaná metodika rovněž umožní předejít přetížení rovnaček, které způsobuje neplánované prostoje na jejich opravy.

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval panu prof. Ing. Radku Čadovi, CSc. za cenné připomínky, rady a za drahocenný čas, který mi věnoval při konzultacích v průběhu psaní této práce.



### 13 Seznam použité literatury

1. Historie Nové huti. *ArcelorMittal – 65 let výročí svého založení* [online]. [cit. 2017-11-30]. Dostupné z: <http://www.novahut.cz/historie/>
2. Závody společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s. *ArcelorMittal Ostrava* [online]. [cit. 2017-11-30]. Dostupné z: <http://ostrava.arcelormittal.com/o-spolecnosti/zavody.aspx>
3. POKORNÝ, Arnošt. *Tvářecí stroje: navíječky, rozvíječky, svinovačky, značkovací, vázací stroje: skriptum*. Ostrava: Vysoká škola báňská v Ostravě, 1993. ISBN 80-7078-199-8.
4. ČADA, Radek. *Technologie I: Plastická deformace kovů, objemové tváření zastudena, tažení plechu, ohýbání: skriptum*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2108-5.
5. ČADA, Radek. *Technologie tváření, slévání a svařování: Objemové tváření zatepla, slévání : (návodů do cvičení): skriptum*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 978-80-248-3833-5.
6. ČSN EN 10051 (42 0034): *Kontinuálně za tepla válcované pásy a plechy stříhané z širokého pásu nelegovaných a legovaných ocelí – Mezní úchytky rozměrů a tolerance tvarů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
7. ČSN EN 10029 (42 5311): *Plechy ocelové válcované za tepla tloušťky od 3 mm – Mezní úchytky rozměrů a tolerance tvaru*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
8. KOLLEROVÁ, Mária. *Valcovanie*. Bratislava: Alfa, 1991. ISBN 80-05-00729-9.
9. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. Praha: SNTL, 1965.
10. BŘEZINA, Richard a Jiří PETRUŽELKA. *Úvod do tváření II: skriptum*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2002. ISBN 80-248-0068-3.
11. DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Přeložil Jiří HANDLÍŘ. Praha: Europa-Sobotáles cz., 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
12. HRUBÝ, Jiří, Stanislav RUSZ a Radek ČADA. *Strojírenské tváření: skriptum*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1993. ISBN 80-7078-201-3.
13. ČSN EN 10027-1 (420011): *Systémy označování ocelí – Část 1: Stavba značek oceli*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.

14. ČSN EN 10027-2: *Systémy označování ocelí – Část 2: Systém číselného označování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
15. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2*. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-244-8.
16. FISCHER, Ulrich. *Základy strojnictví*. Přeložil Zdeněk MICHŇA. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel, 2014. ISBN 978-3-8085-1193-0.
17. ČSN EN 10025-2 (420904): *Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí – Část 2: Technické dodací podmínky pro nelegované konstrukční oceli*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
18. PRETSCH, Gerhard. *Zkušenosti s realizací projektu dvoustolicové teplé pásové tratě typu Steckel v NH, a.s.* [online]. 2001 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://konference.tanger.cz/data/metal2001/sbornik/papers/14.pdf>